

2005 年度修士論文

報道記者ロボットシステムの開発

周回経路選択、撮影地点変更、構図変更動作

提出日：2005 年 2 月 2 日

指導：村岡洋一教授

早稲田大学大学院 理工学研究科 情報・ネットワーク専攻

学籍番号：3603U143-5

森中 崇允

目次

| | | |
|-------|-----------------------|----|
| 第1章 | 序論 | 6 |
| 1.1 | 本論文の構成 | 6 |
| 第2章 | システム概要 | 8 |
| 2.1 | 被写体ロボットの動作説明 | 10 |
| 2.2 | 報道記者ロボットの動作説明 | 11 |
| 第3章 | 必要要件 | 15 |
| 第4章 | 提案手法 | 17 |
| 4.1 | 動作要素のチューニング | 18 |
| 4.1.1 | 方向転換中の視点固定 | 21 |
| 4.1.2 | 前進(後退)中の視点固定 | 39 |
| 4.2 | 周回経路選択アルゴリズム | 40 |
| 4.2.1 | 周回経路選択、撮影地点設定アルゴリズム詳細 | 43 |
| 4.2.2 | 移動範囲の制限 | 45 |
| 4.2.3 | 移動範囲ごとの動作変更 | 47 |
| 4.3 | 撮影構図調節動作 | 51 |
| 4.3.1 | 水平、垂直軸方向の構図調節 | 51 |
| 4.3.2 | 視線軸方向の構図調節 | 53 |
| 第5章 | 評価実験 | 56 |
| 5.1 | 視点固定精度実験 | 56 |
| 5.1.1 | 実験方法(方向転換中) | 56 |
| 5.1.2 | 実験方法(前進(後退)中) | 56 |
| 5.2 | システム評価実験 | 58 |
| 5.2.1 | 実験環境 | 58 |
| 5.2.2 | 実験方法 | 58 |
| 第6章 | 実験結果と考察 | 64 |
| 6.1 | 視点固定精度実験結果と考察 | 64 |
| 6.1.1 | 回転動作中 | 64 |
| 6.1.2 | 前進(後退)動作中 | 65 |

| | | |
|-------|-------------------------|----|
| 6.2 | システム評価実験結果と考察 | 66 |
| 6.2.1 | 時間計測結果 | 66 |
| 6.2.2 | 撮影画像の評価 | 67 |
| 第7章 | まとめ | 69 |
| 第8章 | 今後の予定 | 70 |

目 次

| | | |
|------|------------------------------|----|
| 2.1 | 報道記者ロボットシステム | 8 |
| 2.2 | PaPeRo スペック | 9 |
| 2.3 | 報道記者ロボットと被写体ロボット | 10 |
| 2.4 | 撮影地点変更 | 12 |
| 2.5 | PaPeRoWeb | 13 |
| 2.6 | PaPeRoWeb 画像アルバム検索結果 | 14 |
| 3.1 | 目的とする撮影構図 | 16 |
| 4.1 | 動作要素 | 19 |
| 4.2 | 画像フィードバック動作時間と各部位動作の見失い時間の比較 | 20 |
| 4.3 | 方向転換、直進時の視点固定 | 21 |
| 4.4 | PaPeRo 座標系と世界座標系 | 22 |
| 4.5 | 水平方向の振動 | 23 |
| 4.6 | 改善前視点ぶれ計測グラフ | 24 |
| 4.7 | 視線ぶれの原因一覧 | 25 |
| 4.8 | 視点固定動作指令時の各メソッド処理 | 26 |
| 4.9 | 内部メソッド呼び出しまで | 27 |
| 4.10 | 内部メソッド滞在時間 | 27 |
| 4.11 | メソッド全体滞在時間 | 27 |
| 4.12 | メソッド呼び出しから動作開始まで | 28 |
| 4.13 | 全メソッド Out から画面動作まで | 28 |
| 4.14 | 呼び出しのオーバヘッド | 30 |
| 4.15 | オーバヘッドをまとめて処理 | 30 |
| 4.16 | オーバヘッドによる動作遅延の軽減 | 31 |
| 4.17 | 首回転指令パラメタ | 32 |
| 4.18 | 胴体回転指令パラメタ | 32 |
| 4.19 | 垂直ぶれ計測グラフ | 33 |
| 4.20 | 垂直ぶれ平滑化 | 34 |
| 4.21 | 放物線と二点間の関係 | 35 |
| 4.22 | 提案首運動 (順方向) | 36 |
| 4.23 | 提案首運動 (逆方向) | 37 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.24 | 逐次追跡 | 39 |
| 4.25 | 被写体ロボットの向き | 40 |
| 4.26 | 移動方向と MAX 導出 | 41 |
| 4.27 | 撮影地点変更先 | 42 |
| 4.28 | と d3 の導出 | 44 |
| 4.29 | 許容される人間の身長 | 45 |
| 4.30 | 身長と、人間の顔向きを考慮した撮影地点変更範囲 | 46 |
| 4.31 | 首回転の限界点 | 47 |
| 4.32 | 視点 O、視点固定対象 P とした場合の三次元空間内の領域 | 48 |
| 4.33 | 首回転の限界の対処動作 | 50 |
| 4.34 | 撮影地点変更完了直後 | 51 |
| 4.35 | 被写体ロボットが相手をしている人間の場所を予測する | 52 |
| 4.36 | 中点を画面中心に動かし、構図微調節 | 52 |
| 4.37 | 構図設定完了 | 53 |
| 4.38 | 被写体から遠い場合 | 53 |
| 4.39 | 被写体に近づく | 54 |
| 4.40 | 構図設定完了 | 55 |
| 5.1 | 方向転換中視点固定 | 57 |
| 5.2 | 前進 (後退) 中視点固定 | 57 |
| 5.3 | RFID によって、遠隔地の被写体ロボット位置把握 | 59 |
| 5.4 | 実験初期状態:被写体ロボットに到達 | 60 |
| 5.5 | 写真構図調節と撮影 | 61 |
| 5.6 | 次の撮影地点へ移動 | 61 |
| 5.7 | 写真構図調節と撮影 | 62 |
| 5.8 | 方向転換 | 62 |
| 5.9 | 次の撮影地点へ移動 | 63 |
| 5.10 | 写真構図調節と撮影 | 63 |
| 6.1 | 方向転換中視点固定結果 | 64 |
| 6.2 | 直進中視点固定 | 65 |
| 6.3 | 成功画像一覧 | 67 |
| 6.4 | 失敗画像一覧 | 68 |

表 目 次

| | | |
|-----|-------------------------|----|
| 4.1 | 2 動作の特性の比較 | 19 |
| 6.1 | 計測時間の平均 | 66 |
| 6.2 | サービス提供時間の見積もり | 67 |
| 6.3 | 撮影画像評価 | 68 |

第1章 序論

本研究の最終目標はデジタル写真撮影の機能を持つ移動ロボット(報道記者ロボット)の動作制御を実現し、報道記者ロボットシステムとして実現することである。本論文では、報道記者ロボットの要素技術1、2を実現し、評価を行った。

1. 報道記者ロボットの挙動

撮影対象物と一定の距離を保ちながら撮影対象物の周りを周回して写真撮影地点を変更し、最適な構図を微調節して写真撮影を繰り返す一連の動作。

2. 動作要素の作成とチューニング

1の一連の動作それぞれに必要なロボットの動作部品(方向転換、前進、後退、カメラ向き、構図の調節)の作成とチューニング

初期状態は、「ある空間内に、人がロボット(被写体ロボットと呼ぶ)と遊んでいるペアが複数存在している。そのペアの中のひとつを一台の報道記者ロボットが見つけて、撮影対象としている状態」とする。

1.1 本論文の構成

本論文は、本章を含む全8章からなる。

第1章 序論

本論文の目的、構成について述べる。

第2章 システム概要

報道記者ロボットシステムの概要と、報道記者ロボットの動作について述べる。

第3章 必要要件

本システムに求められる要件について述べる。

第 4 章 提案手法

要件を満たす手法を提案する.

第 5 章 評価実験

提案手法の評価実験を説明する.

第 6 章 実験結果と考察

本システムの実験結果を提示し, その考察を述べる.

第 7 章 まとめ

本論文のまとめを述べる.

第 8 章 今後の予定

今後の予定を述べる.

第2章 システム概要

報道記者ロボットシステムの概要を示す(図 2.1)。

報道記者ロボットシステム：以下の被写体ロボット、報道記者ロボットが空間内で自律的に動き、写真撮影を行うサービスを提供するシステム

- 被写体ロボット
人間とコミュニケーションやゲーム等の相手をし、人間と撮影対象ペアとなっている。
- 報道記者ロボット
空間内を巡回し、撮影対象ペアの写真撮影を繰り返す。

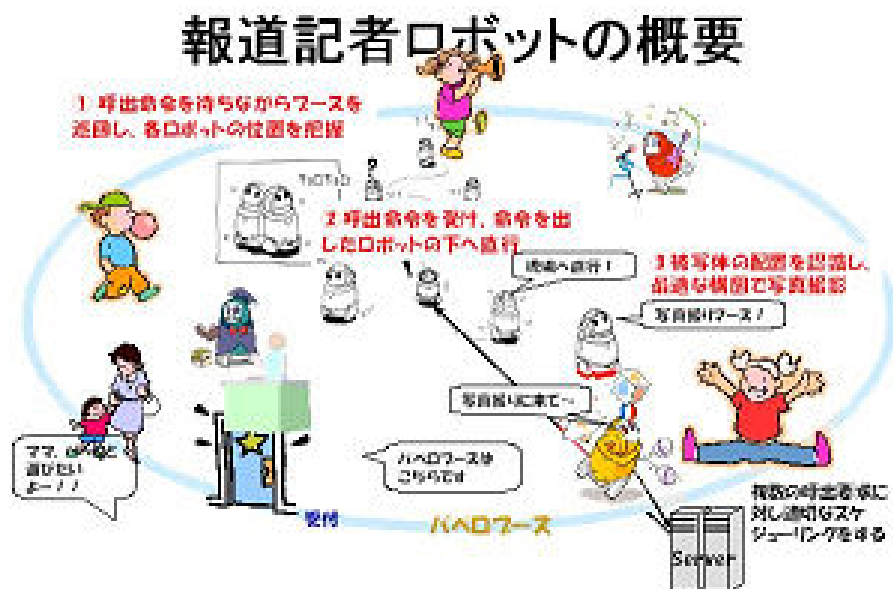
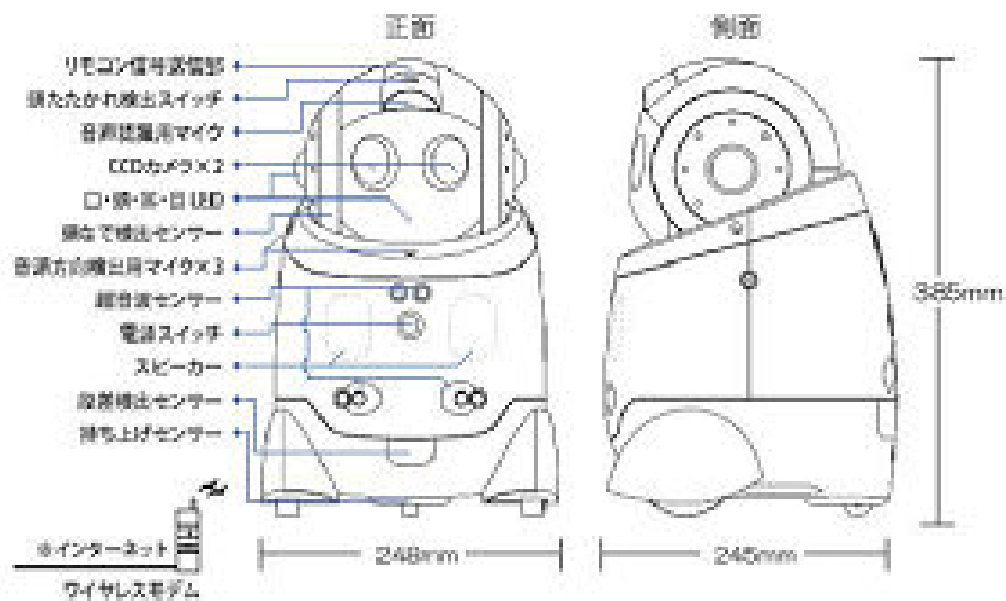


図 2.1: 報道記者ロボットシステム

これら2種類のロボットには、NECの「PaPeRo」(図 2.2)を利用する。



【スペック】

| | |
|--------|---------------|
| 高さ | 385mm |
| 幅 | 248mm |
| 奥行き | 245mm |
| 重さ | 5.0kg |
| 待機稼働時間 | 約2〜3時間 |
| 充電時間 | 約2〜3時間 |
| 認識可能話数 | 約655 (お話しモード) |
| 話す言葉の数 | 約3000 |

【インタフェース】

画像・音声出力TVへ接続可能
インターネットワイヤレスモデムの子機を内蔵。
USB端子

図 2.2: PaPeRo スペック

被写体ロボットは複数台、報道記者ロボットは1台の利用を想定している。また、被写体ロボットは報道記者ロボットが自分の3次元位置の補正、移動先を計算する上での基準点の役目も果たす。



図 2.3: 報道記者ロボットと被写体ロボット

2.1 被写体ロボットの動作説明

PaPeRo にはデフォルトで人とゲームをしたり会話をするといった機能が利用可能である。よって 人間の相手をする機能は PaPeRo の既存の機能を利用する。以下に PaPeRo のコミュニケーション機能の例を挙げる。

- お手伝い系機能 その1
 - － 相談（デートのオススメの日、ドライブのオススメの日など）
 - － 今日は何の日
 - － 今の日時
 - － 心理クイズ
 - － 健康チェック
 - － 今日/明日の占い（全体運、仕事運、恋愛運、出会い運）など

- お手伝い系機能 その2

- － 天気予報のお知らせ（今日の天気、明日の天気、一週間の天気）
- － ニュースの読み上げ（社会、政治経済、スポーツ、芸能、など）
- － 伝言
- － TV リモコン
- － タイマー

- お楽しみゲーム系機能

- － ダンス
- － ものまね（掃除機、ポット、ラーメン、オートバイ、自動車、うさぎ跳び、宇宙人、など）
- － なぞなぞ
- － クイズ
- － だるまさんがころんだ
- － 百人一首
- － 爆弾ゲーム
- － ロックオンゲーム
- － 神経衰弱
- － おみくじ
- － ルーレット など

2.2 報道記者ロボットの動作説明

報道記者ロボットは、以下のイと口の動作を順番に、繰り返して行うものである。まずイにより、報道記者ロボットは撮影対象ペアの撮影が可能な距離まで近づく。口により、写真撮影に必要な動作（写真撮影、撮影地点変更、構図変更）を行うことになる。（本論文では口の動作制御を説明している。）

イ 報道記者ロボットが撮影対象物を発見して近づく動作（図 2.1 の ～ ）[1]

1. 報道記者ロボットが人間と遊んでいる被写体ロボットの位置を RFID によって把握する。その後、その人間の顔が画面からはみ出ないことを満たす距離まで (本システムでは 1m ~ 1.5m 図 4.29)、画像情報を元にして 近づく。
2. 報道記者ロボットが被写体ロボットまで近づいた後、報道記者ロボットは被写体ロボットを視界の中に入れた状態になる。

ロ 一定の距離を保ちながら被写体の周りを周回して 3 次元空間上における撮影地点変更、画面内の構図調節を行う動作 (図 2.1 の)

1. 被写体ロボットが向いている方向、被写体ロボットまでの距離 $d1$ の情報から被写体ロボットと遊んでいる人間の位置を想定して、人物検出を行う。人間が見つかった場合は被写体ロボットと人間との構図を調節して写真撮影を行う
2. と $d1$ から、次の撮影地点を計算し移動を行う (図 2.4)。
3. 1、2 の動作を繰り返し、目的の構図、目標枚数の撮影を終えた後、空間内の別のロボットを被写体ロボットに変更し、イの制御に戻る

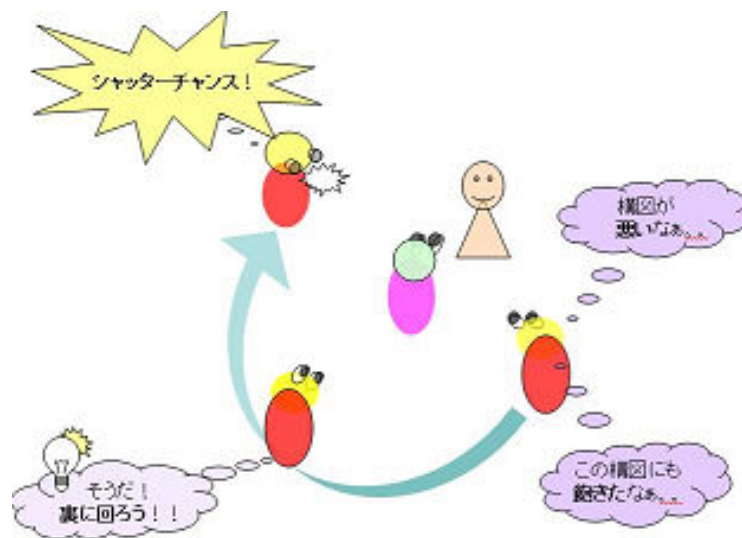


図 2.4: 撮影地点変更

以上、イ、ロの一連の動作を繰り返す。

と d_1 は、画像情報から求めることになる。具体的には、被写体ロボットの三次元位置検出 (d_1 、画面上での被写体の水平座標 X_{pic} 、垂直座標 Y_{pic} は色情報によって抽出された領域の面積値をもとに行われる。また、 d_1 は、被写体ロボット領域の濃淡画像を 2 次元照合することで行う [2]

また、撮影した画像を無線でネットワーク上のサーバにアップロードし、画像アルバムコンテンツ (PaPeRoWeb 図 2.5、図 2.6) を生成することで遠隔地からでもコンテンツを楽しむことが可能となっている。

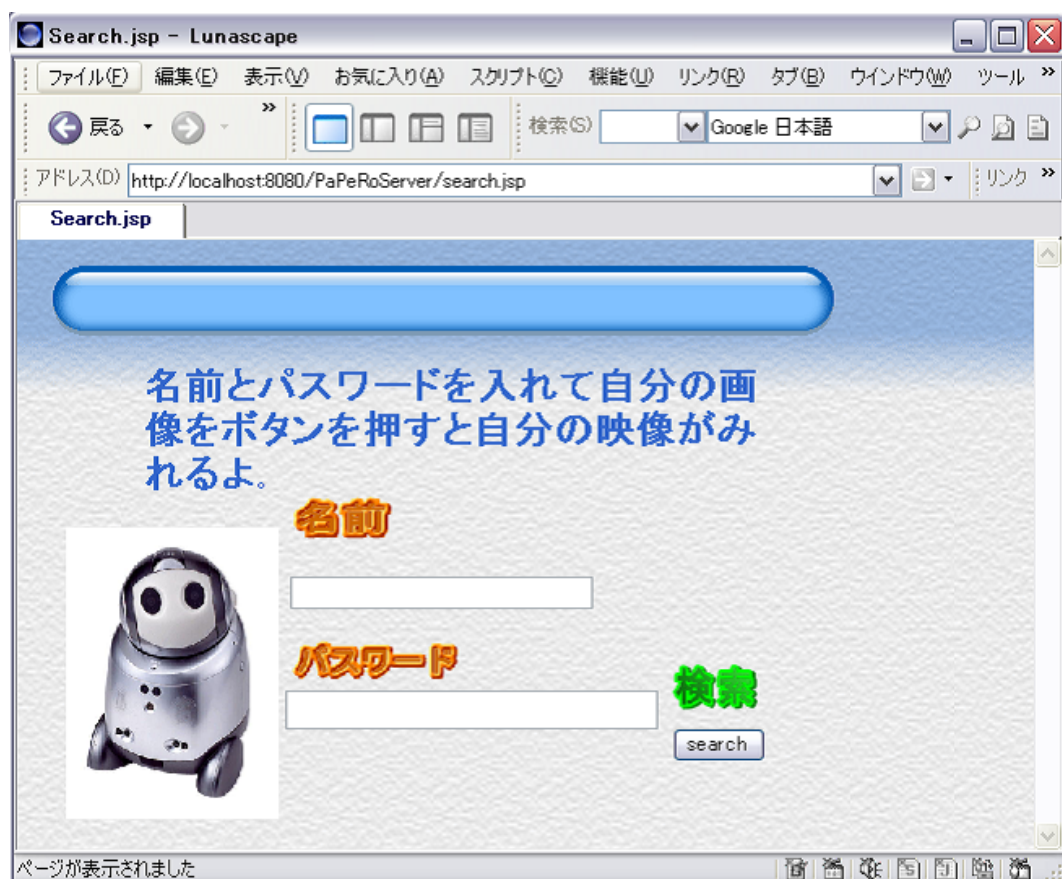


図 2.5: PaPeRoWeb



図 2.6: PaPeRoWeb 画像アルバム検索結果

第3章 必要要件

報道記者ロボットが写真撮影をする上で求められることは、PaPeRoWebの撮影画像アルバムコンテンツ(図2.6)が魅力的であることを基準とし、子供を対象としたデモ「P a p e r oと遊ぼう」[4](中央区工業団体連合会と早稲田大学との産学連携事業)等の参加経験から、子供にとって魅力的なサービスとは以下に挙げる3点を同時に満たすことであるとした。

(a). 撮影写真枚数が多いこと

(b). 良い構図(図3.1)であること

- 被写体の写真内での位置が偏っていない
- 被写体ロボットと人間のペアが両方写っている
- 遊んでいる人間の顔(後頭部ではない)が映っている構図であること

(c). さまざまな構図であること

- 似たような重複する構図を撮影しない

ロボットと人間の写真構図

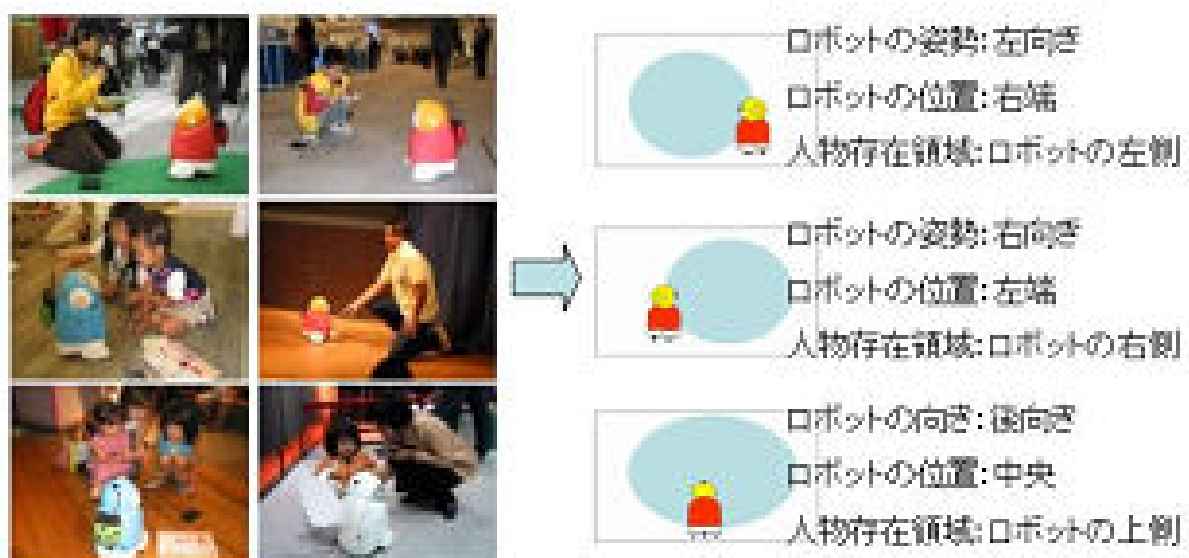


図 3.1: 目的とする撮影構図

第4章 提案手法

報道記者ロボットの動作制御により、必要要件 (a)(b)(c) を同時に満たす手法を次の A ~ D に提案した。

大きく分けて、

A と B は報道記者ロボットの動作要素のチューニング

C と D は報道記者ロボットの移動経路選択アルゴリズム
によって実現している。

- A. 最高速動作
- B. 被写体への視点固定動作制御
- C. 人間の顔 (後頭部ではない) と被写体ロボットが同時に写る空間を移動する
- D. 重複する構図を防ぐ経路選択

C、D のすべての動作において、A、B によってチューニングした動作要素を利用する。

動作要素のチューニング

A. 最高速動作

(a) を実現するために、報道記者ロボットの全ての動作を最高速度で行う。より多くの写真を撮影するために、報道記者ロボットのすべての動作において、時間のロスができる限り防ぐ必要がある。このため、報道記者ロボットの動作を最高速度で行うことで、被写体ロボットと人間が遊んでいるペアのシャッターチャンスを見逃さずに高速移動、高速動作を行う。これは、人間と被写体ロボットがコミュニケーションする時間内に写真撮影を何度も行うことが可能となるためである。

B. 被写体への視点固定動作制御

報道記者ロボットの取得する外部情報は、自身のカメラからの画像情報である。報道記者ロボットは被写体ロボットの3次元位置を計算することで、報道記者ロボット動作時の指定パラメタに対する物理的ずれの補正、写真撮影地点変更時の移動先決定を行う。

そのため、報道記者ロボットは被写体ロボットを常に自分の視界に存在するように動作を行い、対象物を再検出する時間のロスを防ぐ。

移動経路選択アルゴリズム

C. 人間の顔（後頭部ではない）と被写体ロボットが同時に写る空間を移動する経路選択

(b)を実現するために、報道記者ロボットは人間の顔（後頭部ではない）と被写体ロボットが同時に写る空間を選択して進ませる。二者が同時に写る空間とした理由は、Aによって多くの写真を撮影しても、主役である人間を撮影できなければ意味がないと考えたためである。本システムは人間と、遊び相手となる被写体ロボットとのペアが写り、しかも人間の後頭部ではなく、顔が写った状態を良い構図として考えている（図3.1）。

D. 重複する構図を防ぐ経路選択

(c)を実現するために、後戻りせず一方通行で周回できる経路選択を行う。これによって重複する写真撮影構図を撮影しないようにする。また、速やかに撮影地点変更を行うことが可能となる。

以下の各節では動作要素のチューニング、移動経路選択アルゴリズムの説明と、撮影構図の調節のためのアルゴリズムの説明をそれぞれ行う。

4.1 動作要素のチューニング

周回行動を行う報道記者ロボットの動作要素には、

- 方向転換
- 前進（後退）

の2つが存在する(図4.1)。

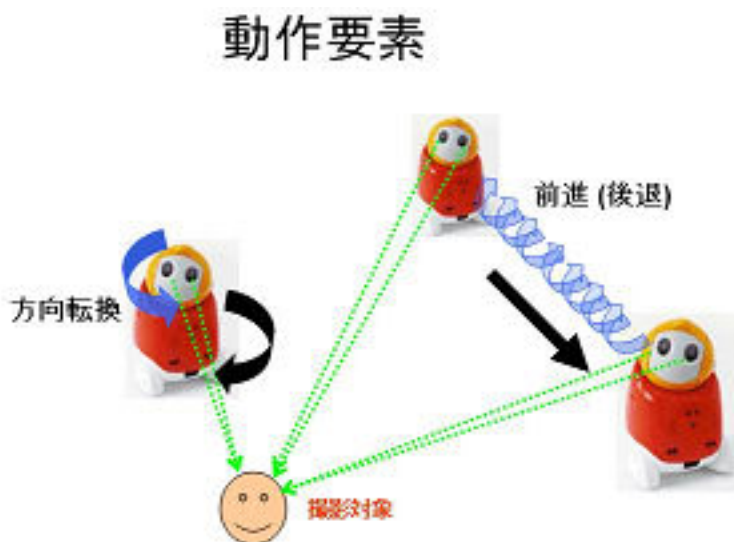


図 4.1: 動作要素

方向転換、前進(後退)をそれぞれ最高速で行った場合の動作の特性の違いは表4.1の通りである。グラフ(図4.2)は、「画像認識を開始してから画像フィードバック動作指令を行い、動作開始まで」の測定時間と、前進(後退)動作、本体回転動作それぞれを行った場合に画面中心にある被写体が画面から外れるまでの時間を比較したものである。前進(後退)時はひとつの動作終了までの時間が10[s]から20[s]である。一方、本体回転を最高速度110[度/s]で行っている場合、動作終了までの時間が1[s]から2[s]で終わるという違いがある。

グラフ(図4.2)より、前進(後退)中に被写体を画像情報のフィードバックを利用してロボットの首を小刻みにうごかし追跡することが可能であると分かる。一方、方向転換回転中に対象物を見失わないように追跡を行うことは、動作指令メソッドの呼び出し遅延、画像情報を取得するフレームレート、物理的に小刻みな動作の実装など、全てを考慮して実現することは困難であることが分かる。

表 4.1: 2動作の特性の比較

| | 最高速度 | 動作終了までの時間 [S] | 動作中の feed back による誤差の吸収 |
|--------|----------|---------------|-------------------------|
| 前進(後退) | 20[cm/S] | 10 ~ 20 | 時間の余裕があり、可能 |
| 方向転換中 | 110[度/S] | 1 ~ 2 | 時間の余裕がなく、不可能 |

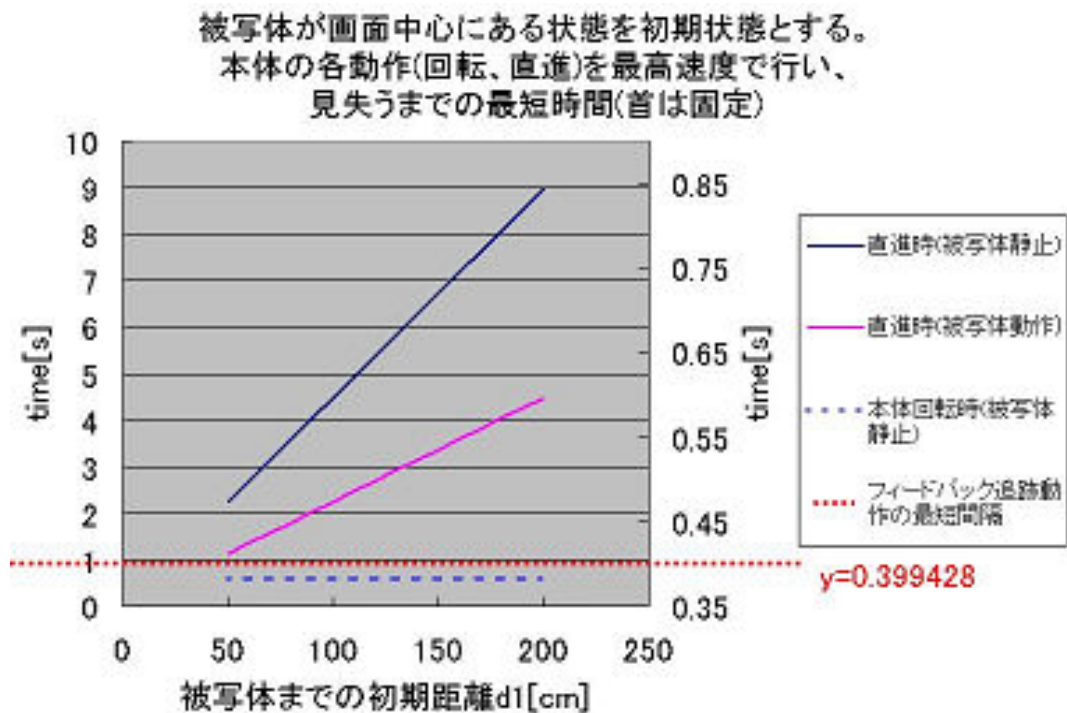


図 4.2: 画像フィードバック動作時間と各部位動作の見失い時間の比較

そこで、本体回転、前進(後退)の各動作に関して最適な視点固定動作をそれぞれ別途実装した(図 4.3)。

具体的には、次の2種類の視点固定動作を実現することで解決する。

方向転換中の視点固定

⇒ 視点固定の精度を上げ、被写体を見失わない(画像情報によるフィードバックの補正は利用しない)

前進(後退)中の視点固定

⇒ 画像情報のフィードバックを利用し、ロボットの首を小刻みに動かして被写体を追跡する

視点固定動作

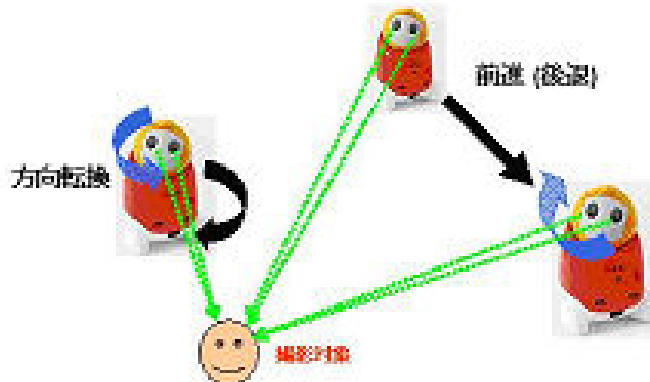


図 4.3: 方向転換、直進時の視点固定

4.1.1 方向転換中の視点固定

視点固定の精度を高くし、被写体を見失わないようにする (動作中は画像のフィードバックを利用しない)。

以下では視点固定の精度を上げるチューニング方法を説明する。

前提として、ロボットの目についているカメラ画像平面における水平方向を X 軸、X 軸と直行する直線を垂直方向 Y 軸、ロボットの視線方向を Z 軸と定義する (図 4.4)。

方向転換中の視点固定動作は、本体が世界座標系で水平回転、首が世界座標系で本体と水平逆回転を同時に行うことで実現することができる。しかし、報道記者ロボットに利用する PaPeRo は、胴体と首の回転軸が傾いている。そのため、Y 軸が世界座標での垂直方向と一致しない (図 4.4)。つまり、水平動作指令のパラメタを与えても世界座標系で水平回転することは不可能である。

また、胴体と首の同時回転指令を行った場合、各部位のオーバーヘッド処理による遅延が発生する。その結果、遅延中の動作量 ($\text{MaX110}[\text{度/s}] \times \text{遅延時間}[\text{s}]$) だけ、先に呼び出した部位が動くという問題が起こる (図 4.5)。

方向転換中視線固定動作を実行して、被写体の振動を計測した結果を図 4.6 に示す。このグラフにおいて、利用が想定される回転角度では必ず被写体を見失っており、報道記者ロボットが空間内を自由に動き回る障害になることがわかる。

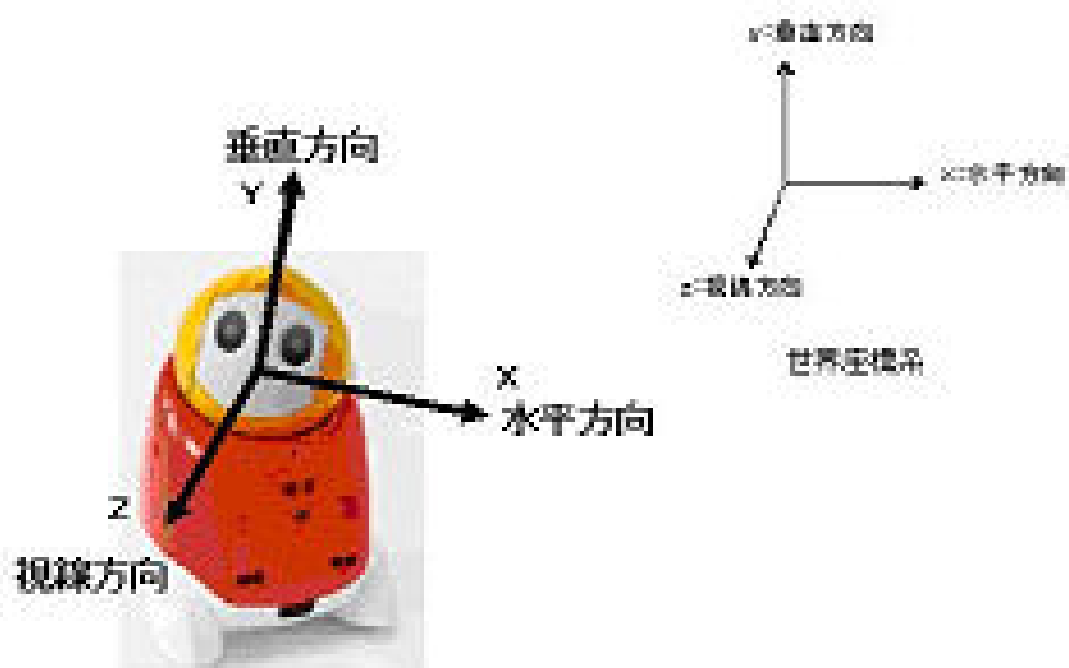


図 4.4: PaPeRo 座標系と世界座標系

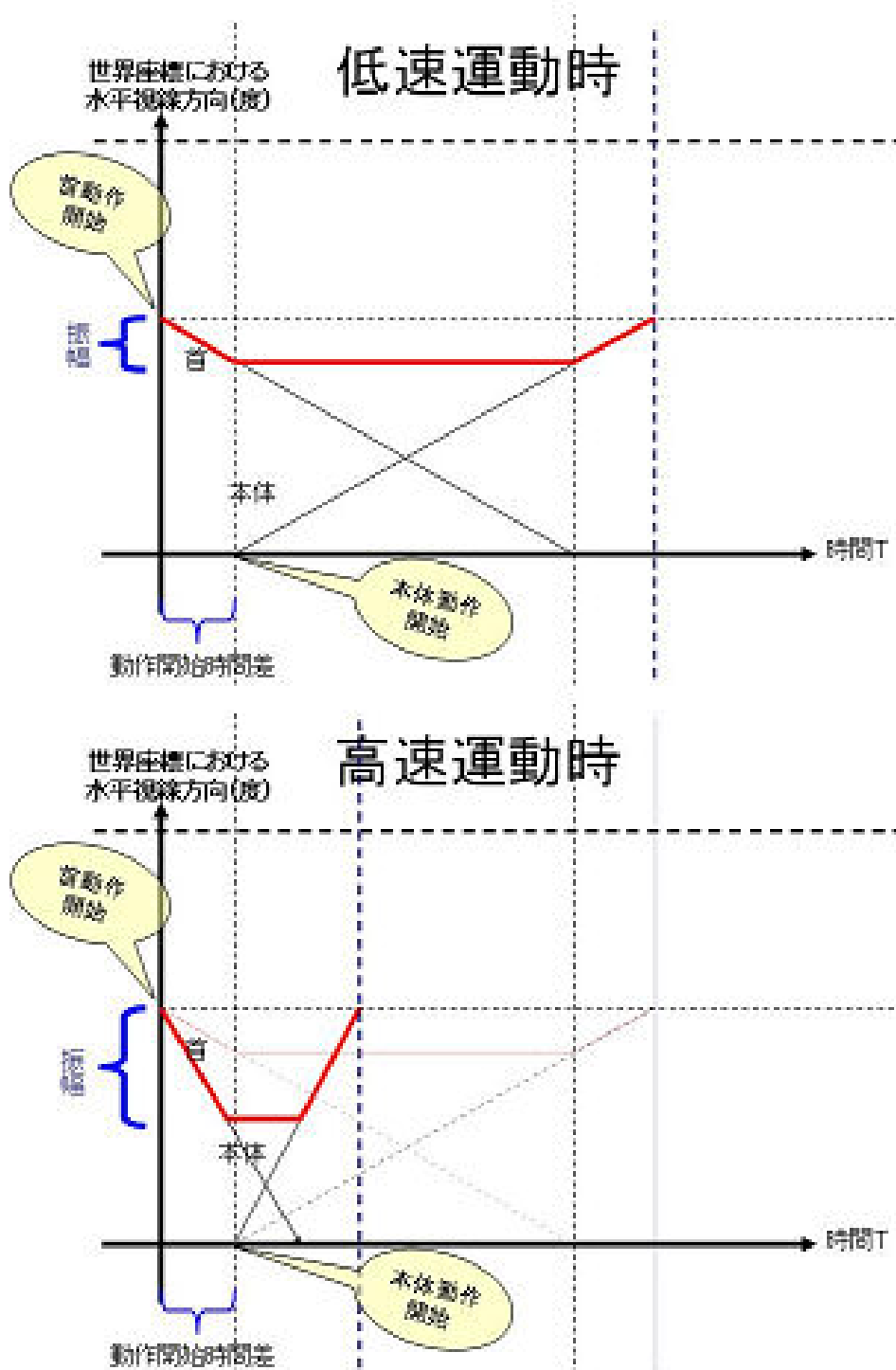


図 4.5: 水平方向の振動

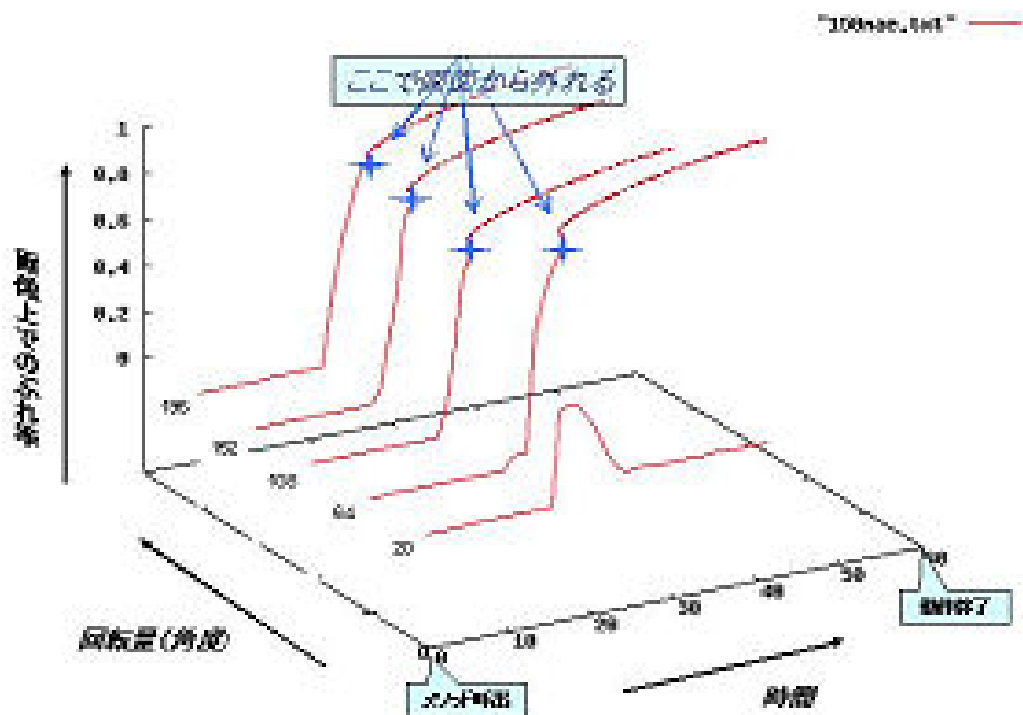


図 4.6: 改善前視点ぶれ計測グラフ

(画面上でのぶれ率のもとめ方)

$$\text{ぶれ率} = \sqrt{x^2 + y^2} \div \sqrt{(a \times \cos \theta)^2 + (b \times \sin \theta)^2}$$

$a = W/2$, $b = H/2$, H = 画面の縦方向ピクセルサイズ、 W = 横方向ピクセルサイズ、 (x, y) = 画面中心を原点としたマーカ位置のピクセル座標、 θ = 画面水平軸から時計回りの角度とする。

ここまで述べた PaPeRo の座標系における水平方向 X、垂直方向 Y、視線方向 Z の視線ぶれの原因をまとめると、図 4.7 のようになる。

各軸方向の視線ぶれの原因

| | 主な原因 | |
|--------|---------------|---|
| 水平方向 X | 首、体、各モータの動作遅延 |  |
| 垂直方向 Y | パペロのハードウェア形状 |  |
| 視線方向 Z | パペロの首関節の形状 |  |

図 4.7: 視線ぶれの原因一覧

以下の節では水平、垂直、視線方向それぞれのチューニング方法を説明する。

水平方向

首、体の各モータ駆動までの動作遅延を解決することで解決する。

首、本体の各部位の動作指令メソッドが呼び出された場合、初期処理 (図 4.8 の Head 回転や Body 回転) の後、実際にモータに動作指令を送る内部メソッド (図 4.8 の各 Internal) の処理が呼ばれる。

ここで、

t_1, t_6 : 動作指令メソッド呼び出し時刻

t_2, t_7 : 動作指令メソッドの *Internal* メソッド呼び出し時刻

首、本体を同時逆回転した時の各処理

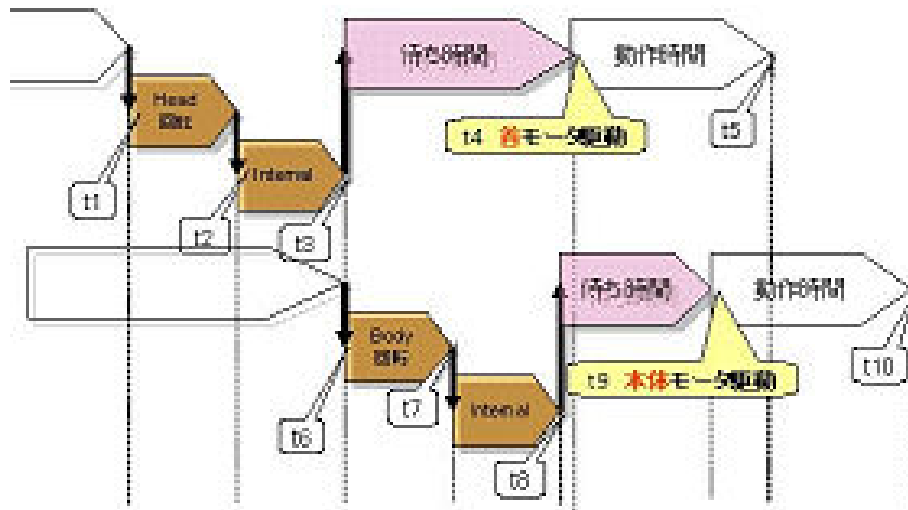


図 4.8: 視点固定動作指令時の各メソッド処理

t_3, t_8 : メソッド終了時刻

t_4, t_9 : 駆動部品のモータ駆動時刻

t_5, t_{10} : 駆動部品の駆動終了時刻

PaPeRo 処理性能

Intel Celeron プロセッサ 497 MHz

メモリ 192 MB RAM

として、各時刻を計測した結果は以下のとおりである。

図 4.8 のように、首、本体を同時に（非同期に）逆回転する指令を行った場合、メソッドの内部では、処理が Head 回転 (Body 回転) から Internal に各処理が移り、その Internal メソッド内部でモータの動作指令が呼び出される。各メソッドは同じスレッド上で処理が行われるため、先に呼び出した部位の動作（ここでは首回転）メソッドから返るのを、次の部位のメソッドの処理（ここでは本体回転）が待機しなくてはならなくなる。つまり図の $t_1(t_6)$ 秒から $t_3(t_8)$ 秒までの間、本体の回転メ

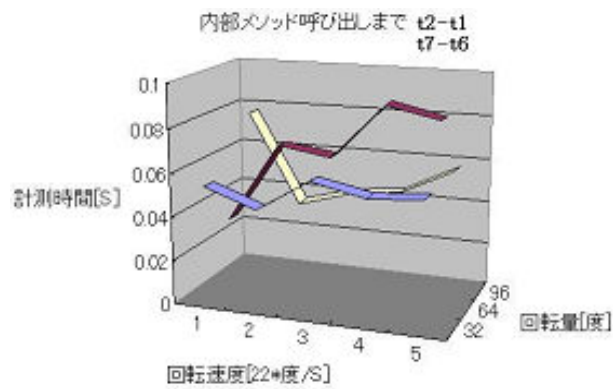


図 4.9: 内部メソッド呼び出しまで

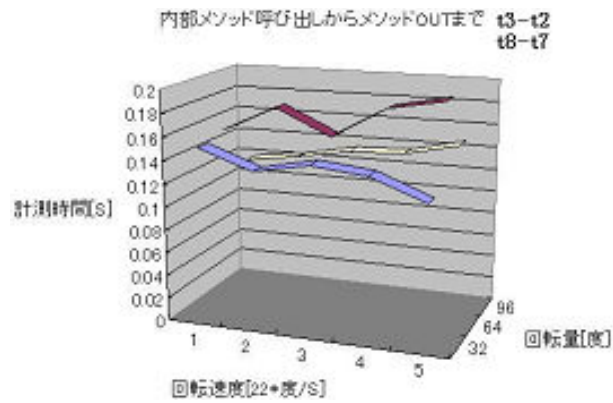


図 4.10: 内部メソッド滞在時間

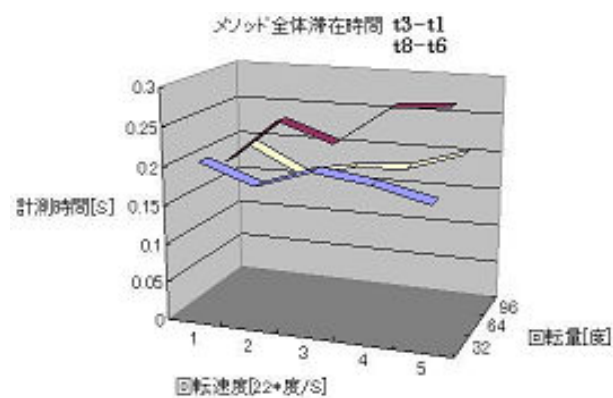


図 4.11: メソッド全体滞在時間

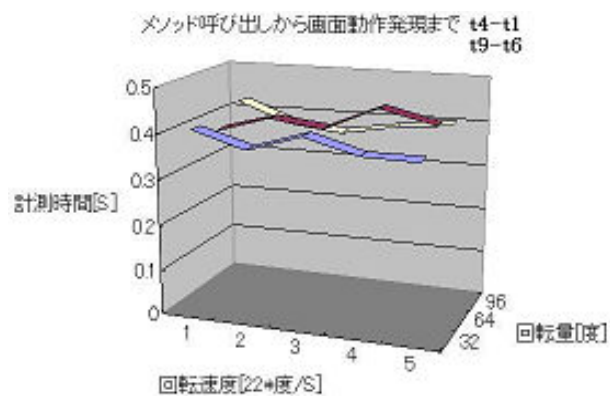


図 4.12: メソッド呼び出しから動作開始まで

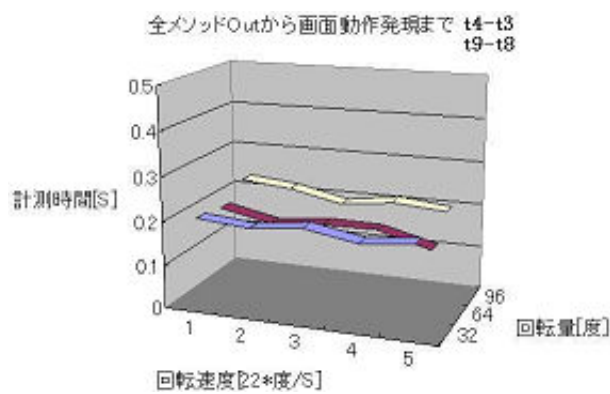


図 4.13: 全メソッド Out から画面動作まで

ソッドが処理されずに遅延が発生することになる。この遅延の影響を受けて、首と本体の逆回転の同時実行（非同期実行）には $t_9 - t_4$ 秒の動作遅延が起こることになる。具体的な値は、約 $0.3994[s]$ （図 4.11 の $t_4 - t_1$ 、 $t_9 - t_5$ ） $\sim 0.2464[s]$ （図 4.11 の $t_3 - t_1$ 、 $t_8 - t_5$ ）である。

つまり被写体が画面の中心にあった場合、 $43.93 \sim 27.10[度]$ だけ画面がぶれて動作を行うことになる。本システムで被写体ロボットの検出に利用する画像処理 [2] では、被写体ロボットの全身が画面の中に存在して、かつ画面内の中心から一定の範囲の部分で処理精度が満たされる。このままでは、報道記者ロボットの方向転換時に画面から被写体が外れたり（ $\frac{PaPeRo \text{ の画角 } (83.82)[度]}{2}$ を越える振動）、画面の内部に存在していても画面の端の部分であるといった問題が起こる。結果として被写体ロボットの検出が不可能となる。

動作遅延による画面の振動を解決するためには、各時点の時間計測結果（図 4.9 ~ 図 4.13）より、

- ・ t_1 から t_3 、 t_6 から t_8 のオーバーヘッドをあらかじめまとめて処理する
- ・ t_9 と t_4 が同時になるよう、 t_3 から t_4 、 t_8 から t_9 の間に待機時間を挿入する

という 2 通りの方法が考えられる。前者は実装が容易である一方、後者は動作遅延の予測が必要になる。さらに、実環境での報道記者ロボットは、さまざまな画像処理 [2]、多くの動作制御、写真アップロードに伴うネットワーク処理等を同時並行で行うことになる。そのため、処理負荷の予測を予め行うことは煩雑である。本研究では前者の手法を利用することで、報道記者ロボットの利用環境や処理負荷によらず、常にオーバーヘッドの遅延を 0 に近づけることにした（図 4.14 ~ 図 4.16）。

呼び出しのオーバーヘッド

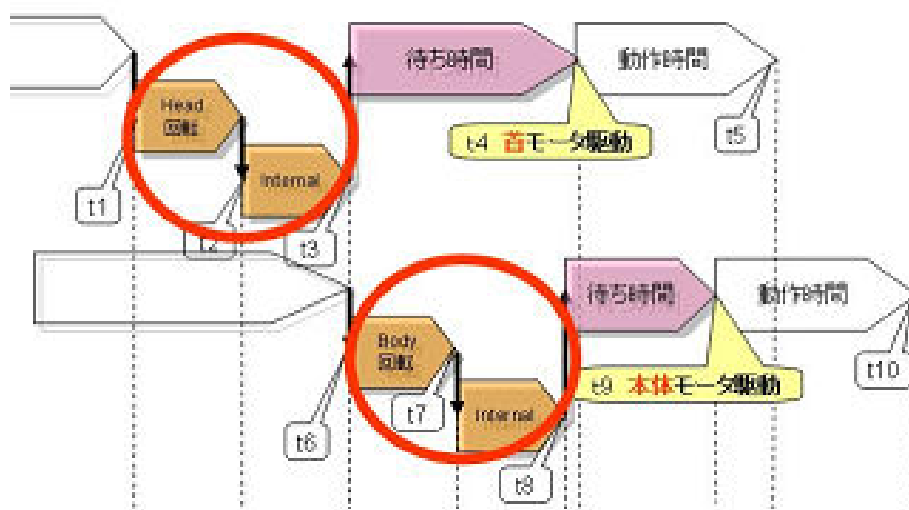


図 4.14: 呼び出しのオーバーヘッド

各メソッドのオーバーヘッドをひとつにまとめて処理をする

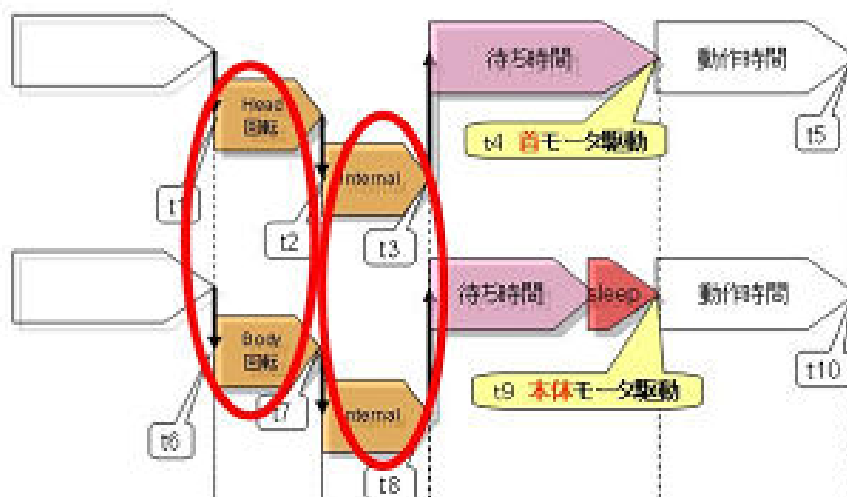


図 4.15: オーバーヘッドをまとめて処理

呼び出しのオーバーヘッドによる 動作遅延を軽減

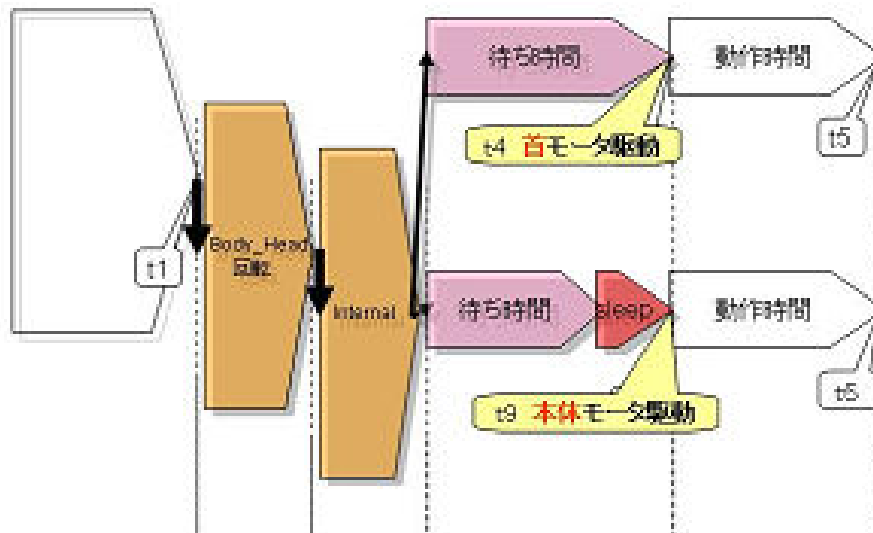
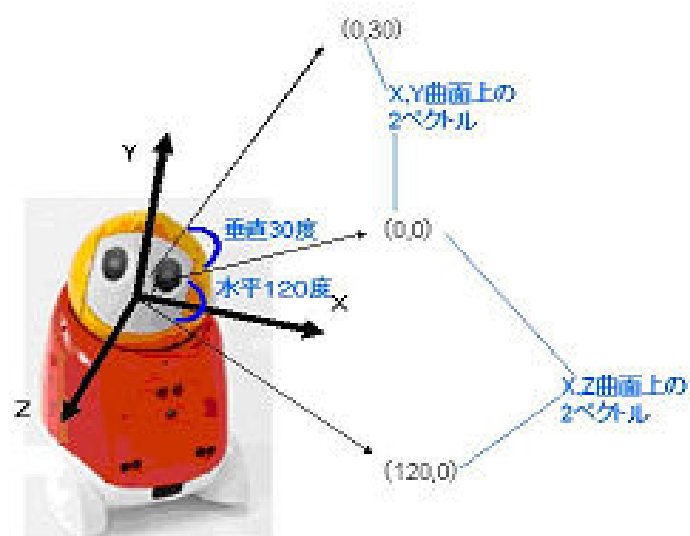


図 4.16: オーバヘッドによる動作遅延の軽減

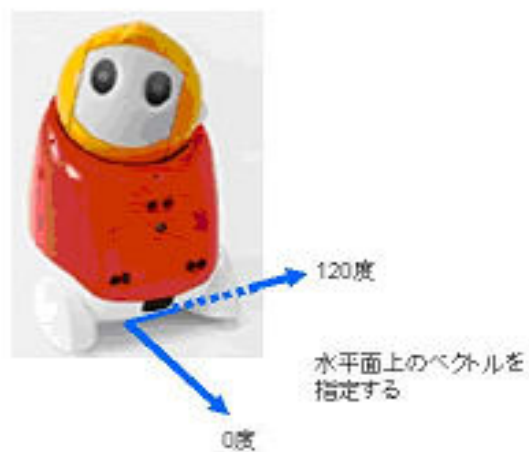
垂直方向

PaPeRo の首、本体動作指令は、基準点から始点、終点に向かう 2 ベクトルの基準ベクトルからの角度をパラメタとして指定し、2 点間を等速回転することになる。PaPeRo が真正面に首を向けているときの X 方向角度を 120 とした場合の視線方向のパラメタの様子を図 4.17、本体真正面の X 方向角度を 0 とした場合の本体回転指令パラメタの様子を図 4.18 に示す。



首回転動作指令(2変数)

図 4.17: 首回転指令パラメタ



本体回転動作指令(1変数)

図 4.18: 胴体回転指令パラメタ

垂直方向の振動ずれ計測 画面上で、位置 (0,0) のベクトル方向にマーカ (被写体) が存在している状態を初期状態とする。始点固定動作として、首は (240,0) への回転指令、本体は-240 度の回転指令を同時に実行する。動作終了までのマーカ (被写体) の方向の振動を計測した。

報道記者ロボットのカメラ画面の中心から被写体が Y 方向に Y_p ピクセル外れた位置に映っている場合、PaPeRo 座標系 (図 4.4) でのマーカの垂直方向ずれ角度 $Y_{\text{角}}$ は、

$$Y_{\text{角}} = \text{atan}\left(\frac{Y_p}{\text{Angle}P}\right)$$

(ただし、AngleP は実空間での距離をピクセルに変換した値とする。)

グラフ (図 4.19) が計測結果である。PaPeRo の首は Y 方向の角度を固定した状態で正面 (120,Y) を向いているときは、左右の (0,Y)、(240,Y) を向いている時に比べて、同じ Y であっても世界座標系では垂直上方向を向く (垂直角度差 約 27 度) ということがわかる。これは前述のように、胴体と首の物理的な設計から、PaPeRo から見た垂直軸 (Y 軸) が世界座標での垂直方向と一致せず、水平動作指令のパラメタを与えても、世界座標で水平に動作することができないためである。

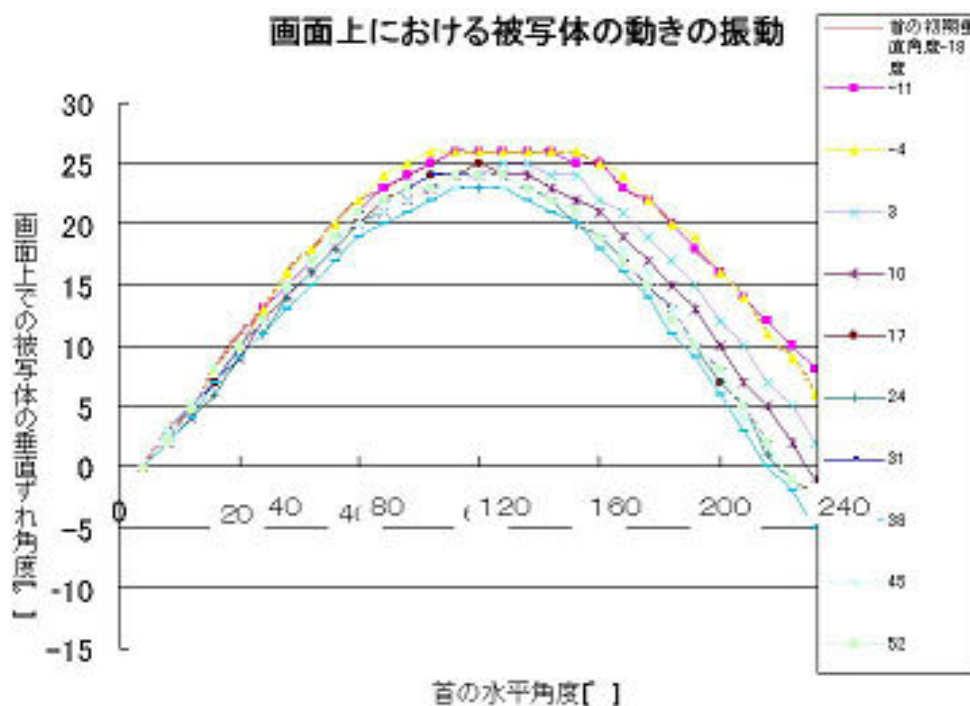


図 4.19: 垂直ぶれ計測グラフ

首挙動アルゴリズム そこで図 4.20 のように首回転時の垂直方向のぶれを平滑化させるような動作を実装すればよい。実装にあたっては、各水平角度ごとに垂直方向ずれを補正して回転動作を行う場合が理想の動作である。しかし、PaPeRo の首は同一平面上の 2 点間等速線運動であるため、理想の動作のためには小刻みに動作をする必要がある。しかし、メソッドを小刻みに呼び出すことは、オーバーヘッドが蓄積 (最大 約 95.86[s]) し、要件 (a) に反することになる。

動作の平滑化

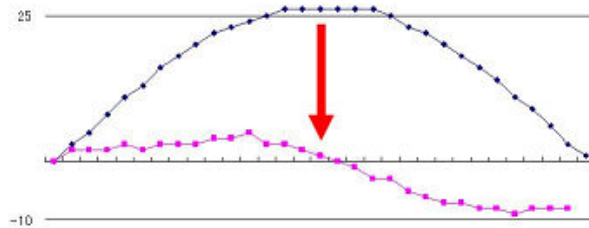


図 4.20: 垂直ぶれ平滑化

よって、以下の提案手法を利用する。

まず、画面上での振動のグラフ (図 4.19) の近似曲線を放物線

$$f(x) = ax^2 + bx + c(a < 0)$$

とおく。

動作の開始時の画面上のマーカ位置を (X_s, Y_s) 、終了時のマーカ位置を (X_t, Y_t) 、 $Y_s = Y_t$ として、 S から T に 2 点間移動した場合の実際の首動作は始点 $S(S_x, S_y)$ 、終点 $T(T_x, T_y)$ を通るとする。その場合の S と T を通る直線を ℓ と置くと、それぞれの関係は図 4.21 のようになる。

ここで

$$A = a$$

$$B = b - (Y_s - Y_t)/(X_s - X_t)$$

$$C = c - (X_s \cdot Y_t - X_t \cdot Y_s)/(X_s - X_t)$$

$$h(x) = Ax^2 + Bx + C$$

とし、

$(X_s < X_h < X_t)$ において

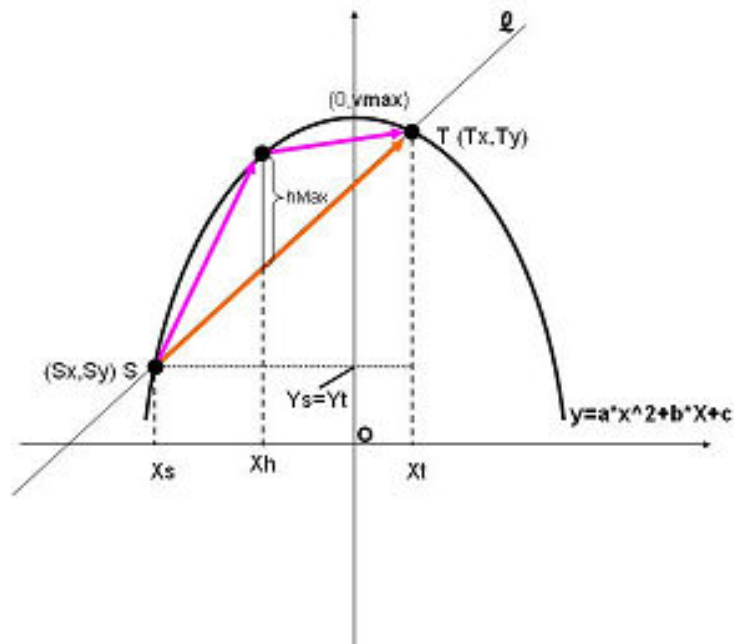


図 4.21: 放物線と二点間の関係

$$h(Xh) = |f(Xh) - \ell(Xh)|$$

の最大値を

$$hMax(X_s, X_t) = -(B^2/4A) + C$$

とおく。

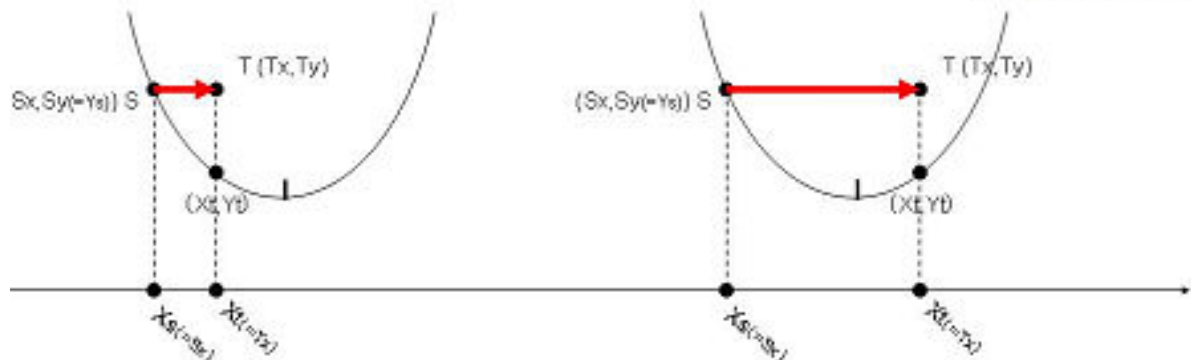
垂直 Y 方向 (図 4.4) の回転は行わず、X 方向の始点 X_s 、終点 X_t の 2 点間首回転を行う指令を $move(X_s, X_t)$ としてあらわし、 $move(0, 240)$ の指令を行った場合の画面内の垂直方向の振動の最大値を v_{max} とおく。

このとき始点 $S(S_x, S_y)$ 、終点 $T(T_x, T_y)$ として、S から T への首回転は次の図 4.22、図 4.23 のようになる。

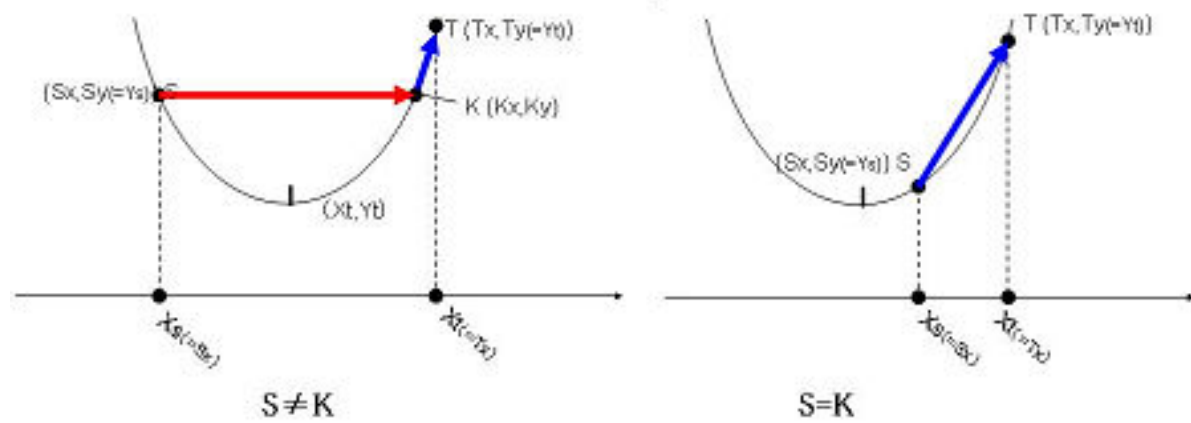
(注)放物線はPaPeRoの首の回転放物線の近似曲線である。

$$Y_s > Y_t (\neq T_y)$$

→ 水平移動可能
→ 水平移動不可能



$$Y_s \leq Y_t (= T_y)$$



$S \neq K$

$S = K$

図 4.22: 提案首運動 (順方向)

(注)放物線はPaPeRoの首の回転放物線の近似曲線である。

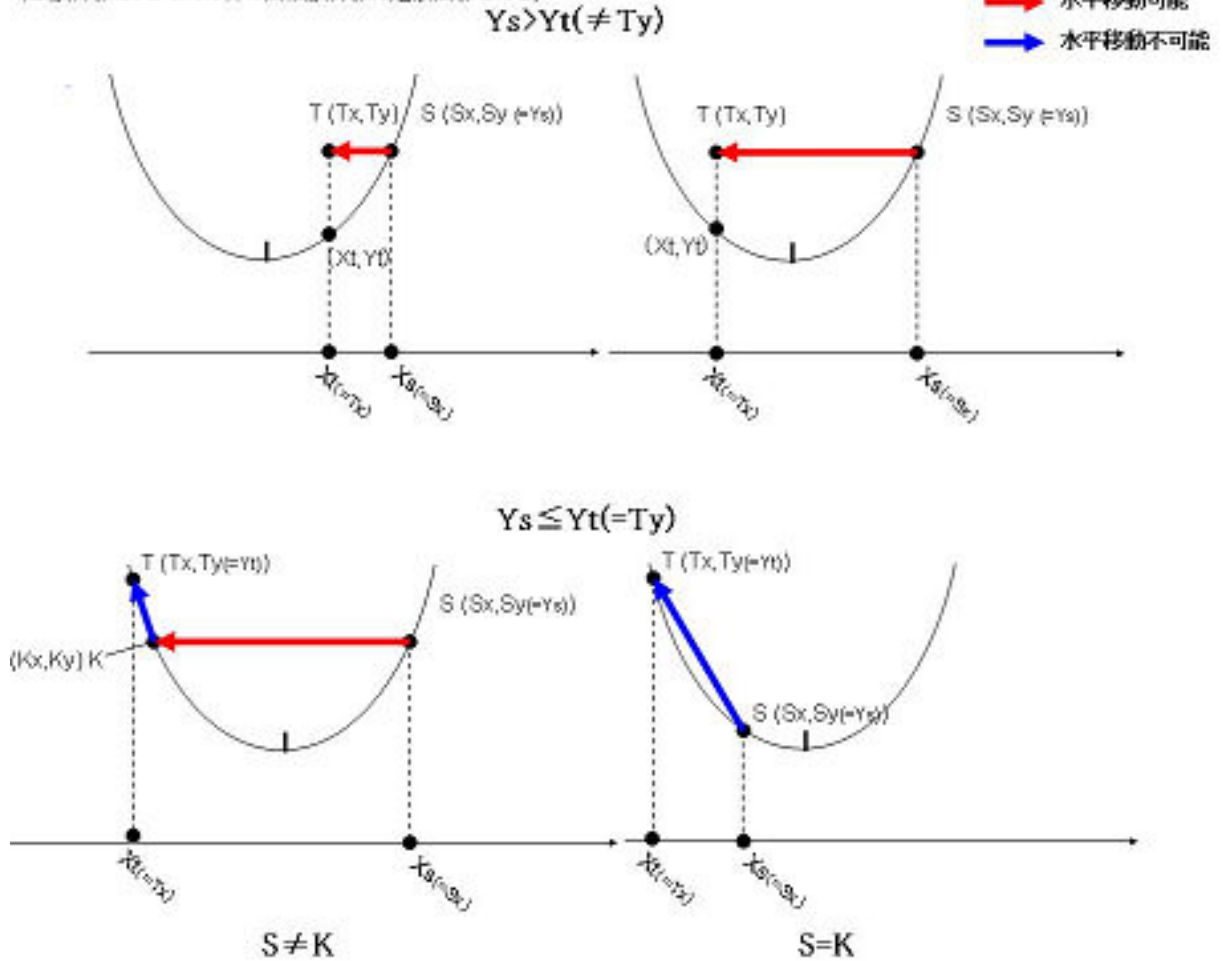


図 4.23: 提案首運動 (逆方向)

Y_s と Y_t の大小、回転の方向それぞれの場合によって、動作を切り替える。
 ただし、PaPeRo の画面上での上下方向振動角度の閾値を $h_{\text{閾}}$ とする。

首動作アルゴリズム

- h_{Max} $h_{\text{閾}}$ の場合 \Rightarrow そのまま $move(X_s, X_t)$ を呼び出す。
- $h_{\text{閾}} < h_{\text{Max}}$ の場合 \Rightarrow 画面内から対象物が消えないように以下に示す再帰動作を行う。

$a' = -a$
 $b' = -b$
 $c' = v_{\text{max}} - c$
 として、

```

if( $Y_s < Y_t$ ){
    if( $Tx - Sx = 0$ ){
         $Kx = (-b' + \sqrt{b'^2 - 4a'c'})/2a'$ ;

        if( $Sx == Kx$ ){
            平滑動作 ( $Xk, Xt$ );
        }else{
            平滑動作 ( $Xs, Xk$ );
            平滑動作 ( $Xk, Xt$ );
        }
    }else{
         $Kx = (-b' - \sqrt{b'^2 - 4a'c'})/2a'$ ;

        if( $Sx == Kx$ ){
            平滑動作 ( $Xk, Xt$ );
        }else{
            平滑動作 ( $Xs, Xk$ );
            平滑動作 ( $Xk, Xt$ );
        }
    }
}elseif( $Y_s = Y_t$ ){
    平滑動作 ( $Xs, Xt$ );
}

```

メソッド平滑動作 () の内部は次の通り

```

平滑動作 ( $Xs, Xt$ ){
     $Ys = l(xs)$ ;
     $Yt = l(xt)$ ;

    if( $hMax(Xs, Xt) > h_{閾}$ ){
        平滑動作 ( $Xs, Xhmax$ );
        平滑動作 ( $Xhmax, Xt$ );
    }else{
        move( $Xs, Xt$ );
    }
}

```

視線方向

PaPeRo の視線軸方向の回転に関しては、制御不可能である。グラフ 4.6 より、視線軸方向の回転が PaPeRo の視点固定に影響を受けるのは、PaPeRo の首が正面を向いているときよりも、横を見ているときであることがわかる。実際の撮影地点変更動作では、視点のぶれを閾値として指定可能回転量を制限することでこれに対処する。

4.1.2 前進(後退)中の視点固定

画像のフィードバックを利用しながら首を小刻みに動かして追跡することで実現する(図 4.24) 報道記者ロボットのカメラ画面の中心から被写体が X 方向に X_p ピクセル、 Y 方向に Y_p ピクセル外れた位置に映っている場合、PaPeRo 座標系(図 4.4)での水平ずれ角度 $X_{\text{角}}$ 、垂直ずれ角度 $Y_{\text{角}}$ は、

$$X_{\text{角}} = \text{atan}(X_p / \text{Angle}P)$$

$$Y_{\text{角}} = \text{atan}(Y_p / \text{Angle}P)$$

(ただし、AngleP は実空間での距離をピクセルに変換した値とする。)
により求め、報道記者ロボットの首の角度を $-X_{\text{角}}$ 、 $-Y_{\text{角}}$ だけ動かすことで実現する。

画像フィードバックによる追跡首動作

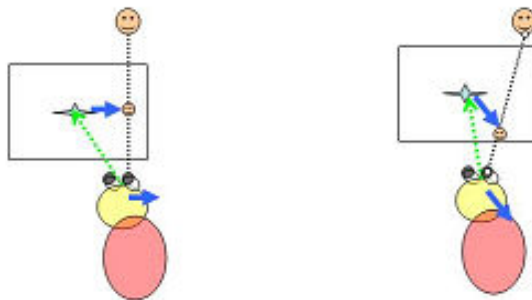


図 4.24: 逐次追跡

4.2 周回経路選択アルゴリズム

周回経路選択アルゴリズムを以下に示す。ここにあげたアルゴリズムは、必要要件 (a)(b)(c) を満たすために前述した C、D の観点で提案した。

C より、人間の顔を撮影するためには、人間の向いている方向を知る必要があるが、画像情報から人間の向いている方向を検知することは困難である。一方、人間に比べてロボットの形状は変化が小さい。そのため、被写体ロボットの胴体が向いている方向を画像情報から検出することは容易である [2]。(の基準線は、被写体ロボットから報道記者ロボットを通る直線とし、反時計回りに正の角度として定義する (図 4.25)。

被写体ロボットの向き β

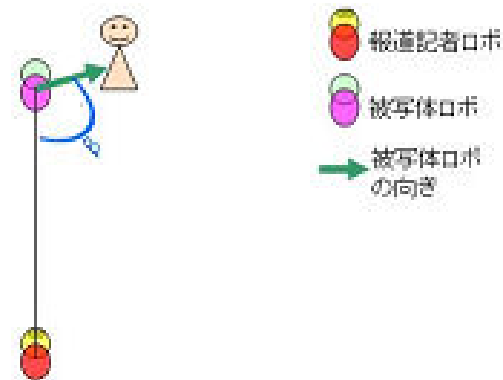


図 4.25: 被写体ロボットの向き

そこで、から逆算して人間の向いている方向を計算することとした。被写体ロボットは「人間と遊んでいるロボット」である。つまり、被写体ロボットが向いている方向に人間が存在しており、その人間の向いている方向は逆方向 ($+180$) であると推測することができる。

D に関しては、被写体との距離を一定範囲に保ちながら周回行動を一方方向に行うことにした。ここでいう一定の範囲とは、被写体の人間の頭部が写らなくなるほど近づかない距離で、かつ撮影画像内で人間が小さくなるほど遠くない距離である (図 4.29 ここでは $1\text{m} \sim 1.5\text{m}$)。

また、左右対称の同じような構図 (たとえば、被写体ロボットが左、人間が右と

いう構図と、人間が左、ロボットが右という構図)を重複構図とみなし、写真撮影を省略する。

以上を考慮して、次のアルゴリズムを適用した。

まず、報道記者ロボットの周回移動方向、報道記者ロボットの現在位置から周回移動の終点までの角度 MAX を次のように定義する (図 4.26 を参照)。

$$MAX = \begin{cases} 270 - \beta & (0 \leq \beta < 180) \\ \beta - 90 & (180 \leq \beta < 360) \end{cases}$$

移動方向と αMAX の導出

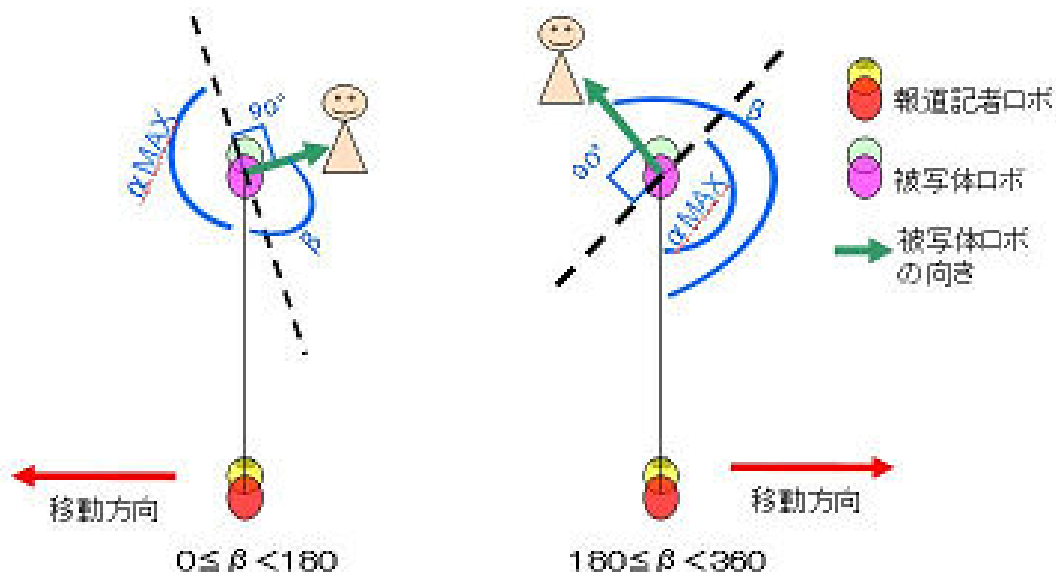


図 4.26: 移動方向と αMAX 導出

要件 (a) より、周回移動方向は、 MAX が最大となる方向に移動を行う。
つまり、

0 $\leq \beta < 180$ のとき、周回向きは時計回り
180 $\leq \beta < 360$ のとき、周回向きは時計と逆回り
となる。

4.2.1 周回経路選択、撮影地点設定アルゴリズム詳細

以下に周回経路選択、撮影地点設定のアルゴリズム全体を示す。

```
=被写体ロボットの向き;
if(  $\theta < 180$ ){
    MAX=270-  $\theta$  ;
    移動向き=+ 1 ; //時計周り
}else{
    MAX=  $\theta$  -90;
    移動向き=-1; //反時計周り
}

 $d_1$  = 被写体ロボットまでの距離;
while( MAX > 0 ){
     $\theta$  = MAX% 360 ;
    if(0 <  $\theta$  < (  $\pi/2$  )){
        撮影構図変更のための移動 (移動向き  $\times$  (  $\pi/2$  +  $\epsilon$  ),  $d_1$ ,  $d_2$ );
    }else{
        撮影構図変更のための移動 (移動向き  $\times$   $\epsilon$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ );
    }
    //撮影地点変更完了後、値再検出
     $d_1$  = 被写体ロボットまでの距離;
    = 被写体ロボットの向き;
    if(移動向き == 1){
        MAX = 270 -  $\theta$  ;
    }else{
        MAX =  $\theta$  - 90;
    }
}
```

このアルゴリズムの内部において「撮影構図変更のための移動処理」が呼び出されているが、入力は、撮影構図角度 α 、撮影地点変更前の報道記者ロボットと被写体ロボットの距離 d_1 、移動後の距離 d_2 (人間の顔がはみ出ない距離で、構図がとれる距離 (図 4.29 より $1m \sim 1.5m$) である。この入力値を元に報道記者ロボットの方向転換角度 κ と、移動距離 d_3 の移動指令を送る (図 4.28)。 d_3 と κ は次の式で表される。

$$d_3 = \sqrt{(d_1 - d_2 \times \cos \alpha)^2 + (d_2 \times \sin \alpha)^2}$$

$$\kappa = (180/\pi) \times \text{atan}((d_2 \times \sin \alpha)/(d_1 - d_2 \times \cos \alpha))$$

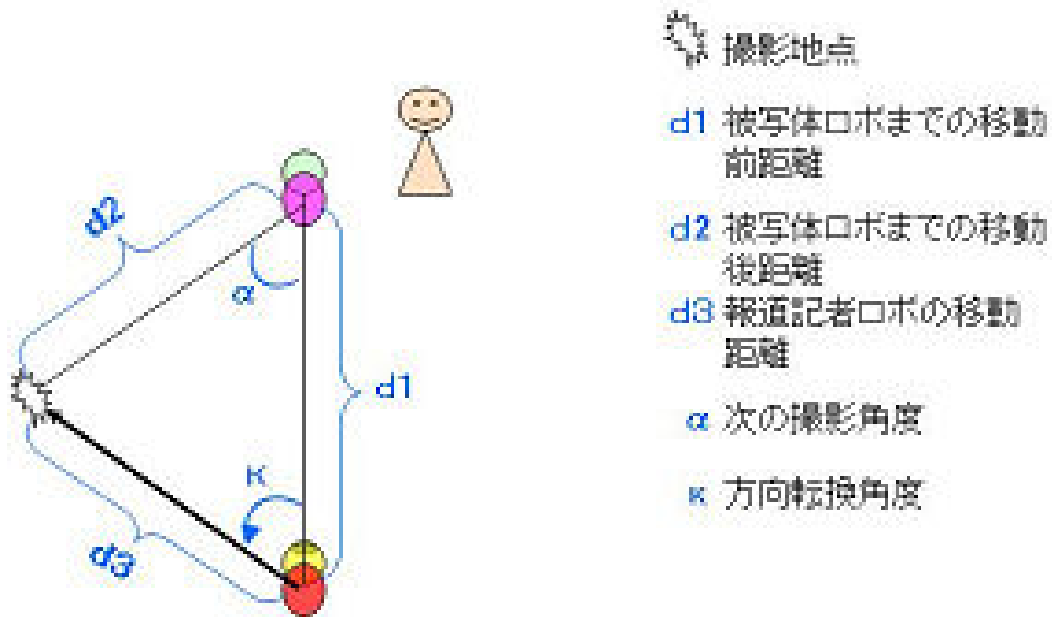


図 4.28: κ と d_3 の導出

4.2.2 移動範囲の制限

実環境で利用するために、被写体、報道記者ロボット自身の物理的形状を考慮して、報道記者ロボットの経路選択の範囲を制限する必要がある。

被写体との位置関係を考慮した移動範囲

- 報道記者ロボットは人間の頭部が写る空間を動かなくてはならない。人間の姿勢によって人間の頭部の高さ L が可変であることを考慮し、人間から約1m～1m50cm離れている空間であるとした。(図4.29)
- 顔が写る空間は人間の前方に存在する。

これらを考慮して、報道記者が人の顔を撮影できる空間は図4.30で示される。この空間を とする。

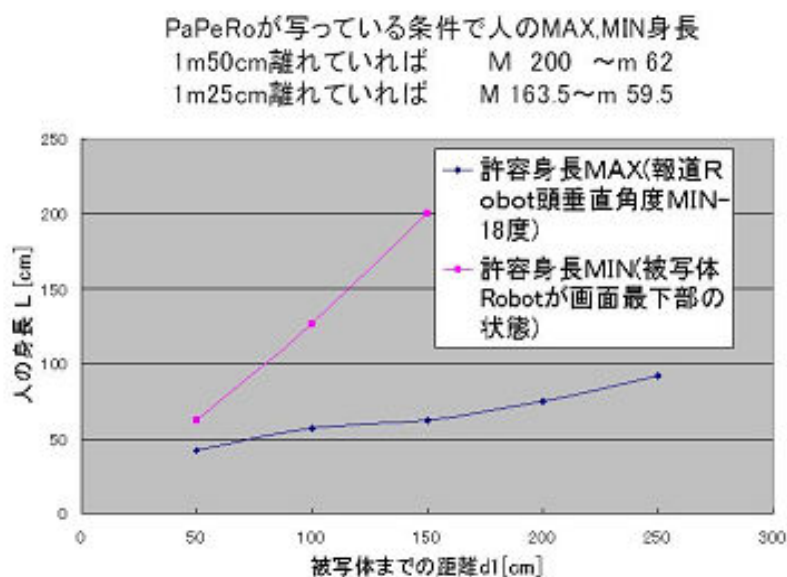


図 4.29: 許容される人間の身長

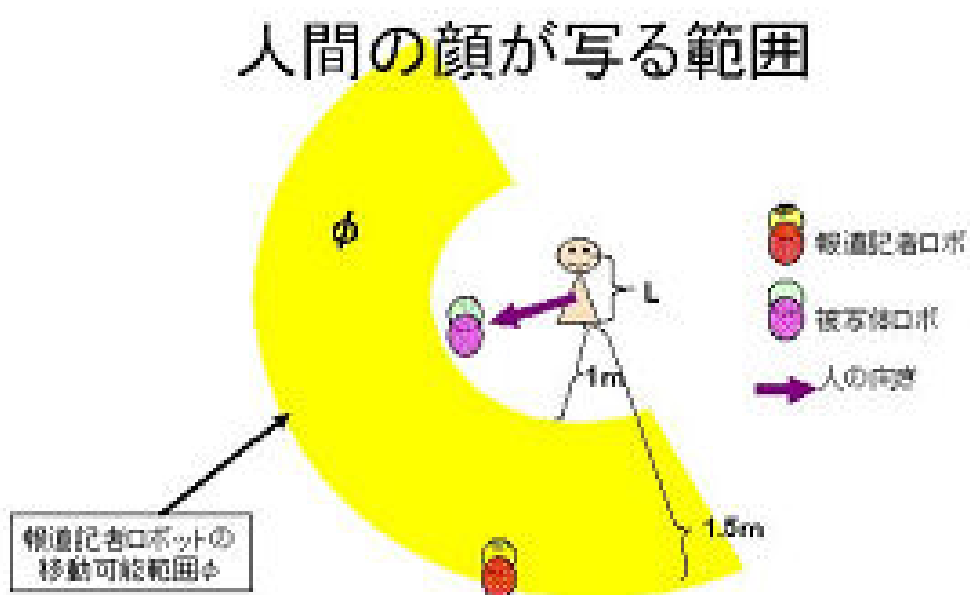


図 4.30: 身長と、人間の顔向きを考慮した撮影地点変更範囲

報道記者ロボットの物理的制限を考慮した移動範囲

PaPeRo の首の駆動には限界があり、正面から左右それぞれ約 120 度を超える回転は不可能である。 $d_1 = 150$ 、原点 O を始点、点 P を視線固定対象の位置として直進した場合の首限界点の極座標グラフを図 4.31 に示す。このグラフで囲まれた領域の内側の空間を Σ とし、外側の空間を U とする。(図は、報道記者ロボットが視線固定対象のロボットに対して、向かって左に進んだ場合のグラフである。右へ進んだ場合は、左右対称のグラフを考える)。

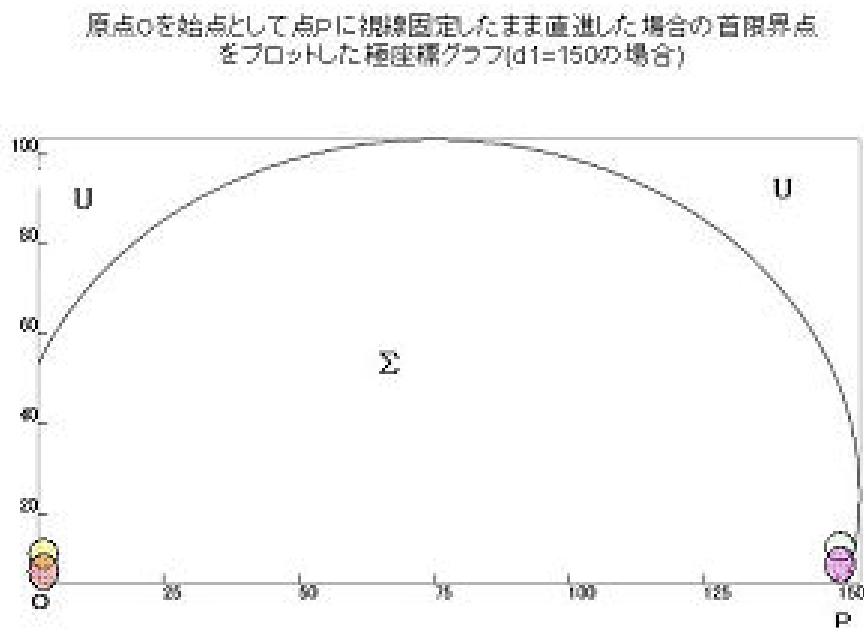


図 4.31: 首回転の限界点

4.2.3 移動範囲ごとの動作変更

前述の制限を全て考慮した三次元空間内の領域を図 4.32 に示す。
(被写体ロボットがコミュニケーション、ゲーム等を人間を相手に行っている場合、人間はそのロボットに対して約 50cm 以内の範囲に近づいている状態としてよい。そのため、人間と被写体ロボットの両方が同じ点 P に存在するように近似して考えている。)

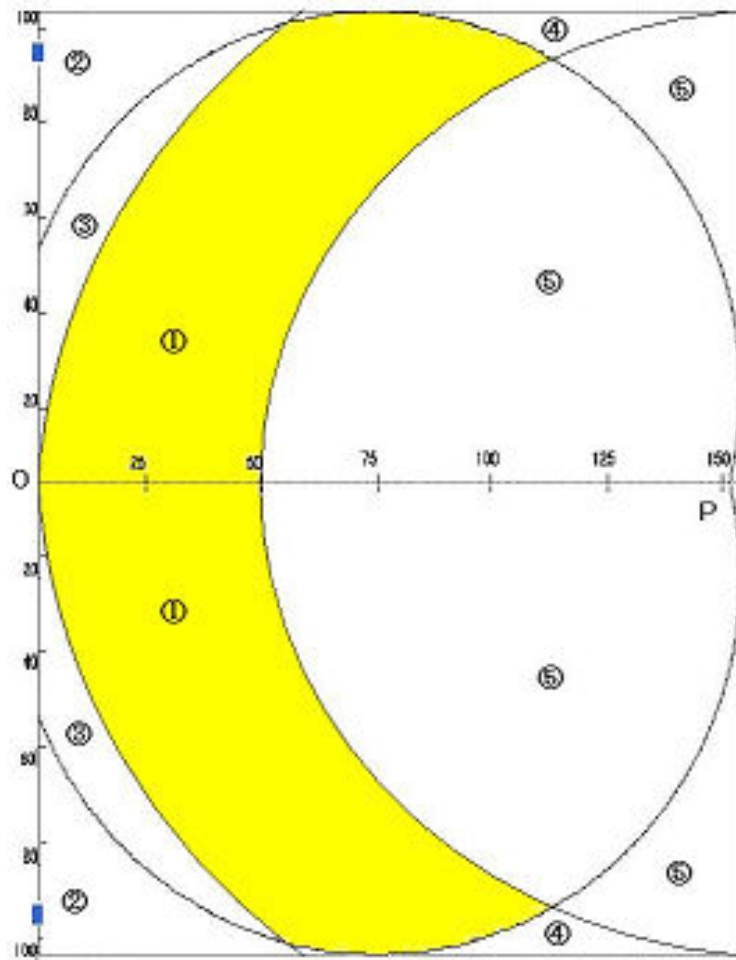


図 4.32: 視点 O、視点固定対象 P とした場合の三次元空間内の領域

図 4.32 の空間 ~ のどこに撮影地点変更先が存在するかによって報道記者ロボットの動作を変更する必要がある。以下にそれを示した。

撮影地点変更時の移動目標地点が

- ・ 範囲 (U) にある場合
そのまま直進することができる。
- ・ 範囲 にある場合
そのまま直進し、写真撮影前の構図調整 (4.3.2 節) によって の範囲に移動する。
- ・ 範囲 、 にある場合
首の駆動の限界を超える直進動作となってしまう。そのため、次の動作 (図 4.33) で被写体を見続けたまま目的の地点に向かう。

1. 範囲 内の動作中は前進する
2. 首限界点に到達した地点で移動停止する
3. 被写体ロボットが報道記者ロボットに向かって右にあれば時計回り、左にあれば反時計回りに 180 度本体回転を行う
4. 範囲 U 内は後退して進む

・ 報道記者ロボットは範囲 に入らないように経路を選択する。
(範囲 は図 4.29 で示したように人間の身長 L に依存する空間であり、人間の頭部が低い位置にあるほど、報道記者ロボットは被写体に近づくことが可能となる。)

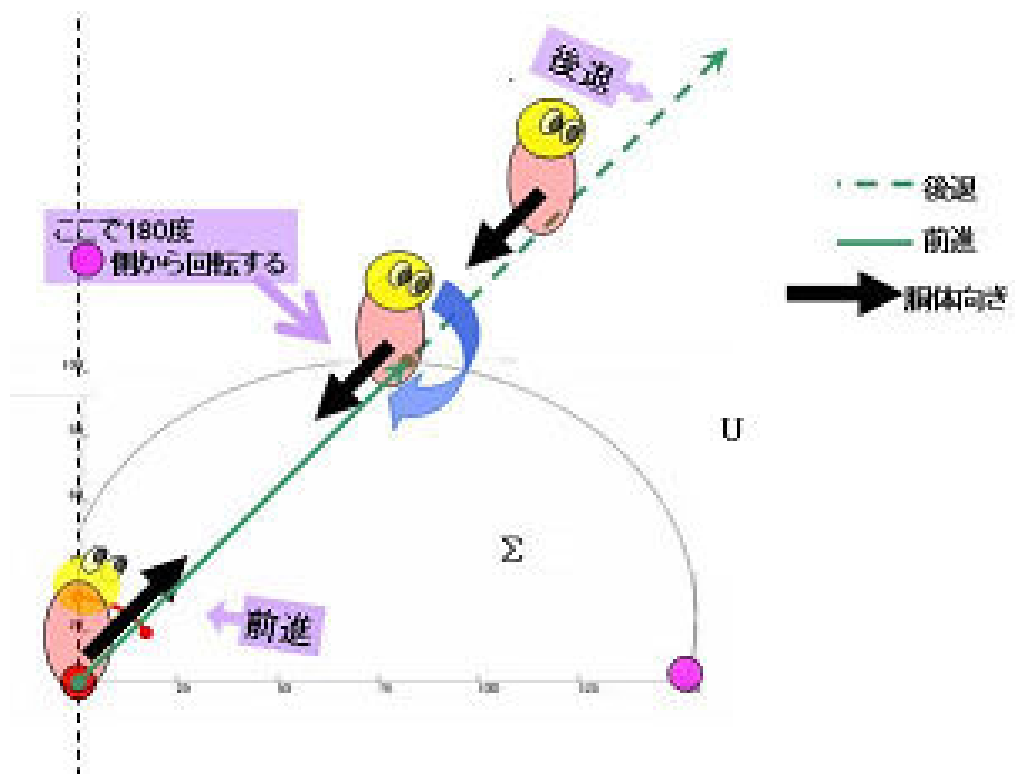


図 4.33: 首回転の限界の対処動作

4.3 撮影構図調節動作

4.3.1 水平、垂直軸方向の構図調節

報道記者ロボットは常に被写体ロボットに視線固定している。そのため、撮影地点変更完了直後も被写体ロボットが画面の中心に写っていることになる。一方、被写体ロボットが相手をする人間の頭部が写っていることは保障されない(図 4.34)。

そのため、被写体ロボットが向いている方向 を再検出し、被写体ロボットの向く方向にペアとなる人間が存在していることを予測する。予測される方向の空間が視界に入るように報道記者ロボットの首を動かす。その後被写体となる人間の頭部領域を検出する [2] ことで人物検出を行う (図 4.35)。

人物検出の結果、ペアとなる人間が、

見つかった場合

首を動かし、中点 (図 4.36) を画面中心に見ることで被写体ロボットと人間のペアの画面構図のバランスをとる (図 4.37)。

見つからず、タイムアウトした場合

報道記者ロボットの背中に付けた RFID リーダ (図 2.3) による被写体ロボットの探索処理 [1] に戻すことでロボット探索を再開する。

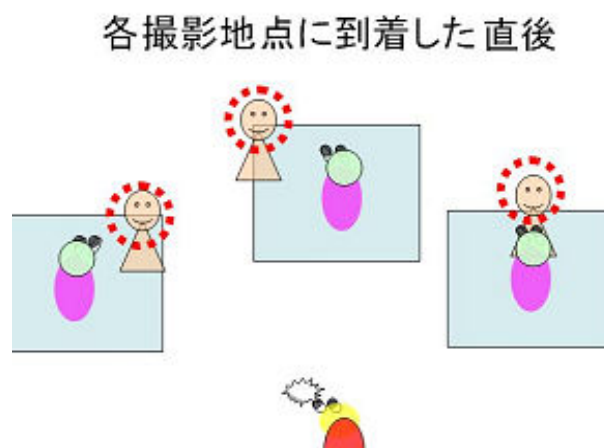


図 4.34: 撮影地点変更完了直後

人のいる場所を推測して画面移動を行う。その後人物検出をする

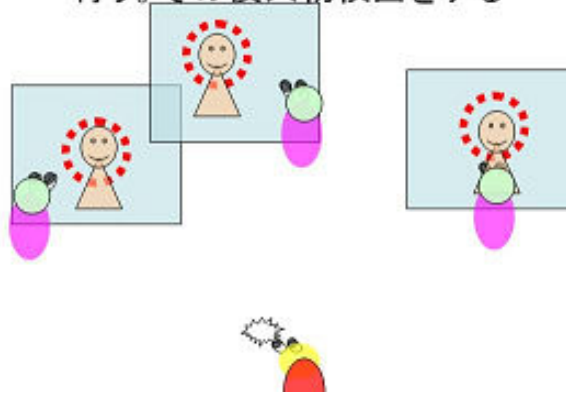


図 4.35: 被写体ロボットが相手をしている人間の場所を予測する

パペロと人間の顔の位置の中点を画面中心に移動する

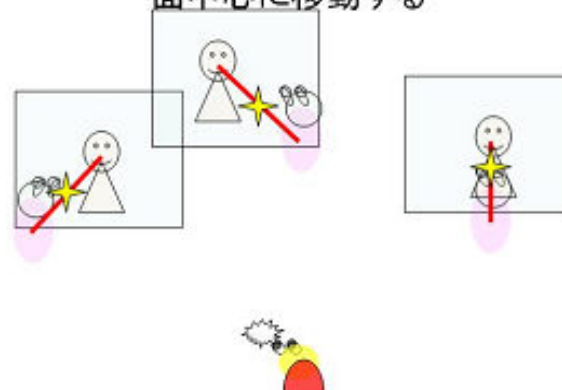


図 4.36: 中点を画面中心に動かし、構図微調節

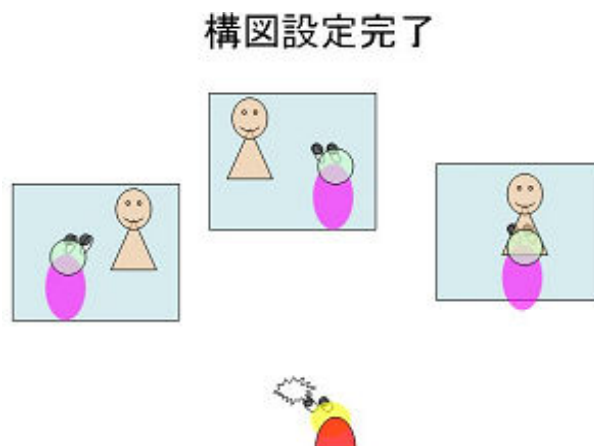


図 4.37: 構図設定完了

4.3.2 視線軸方向の構図調節

撮影地点移動動作終了後、報道記者ロボットが被写体から離れた位置 (図 4.32 の または の空間内) にいた場合の対策を述べる。このとき、画面上では図 4.38 のように、報道記者ロボットが被写体ロボットから離れるほど被写体以外の空間が多く映っている。

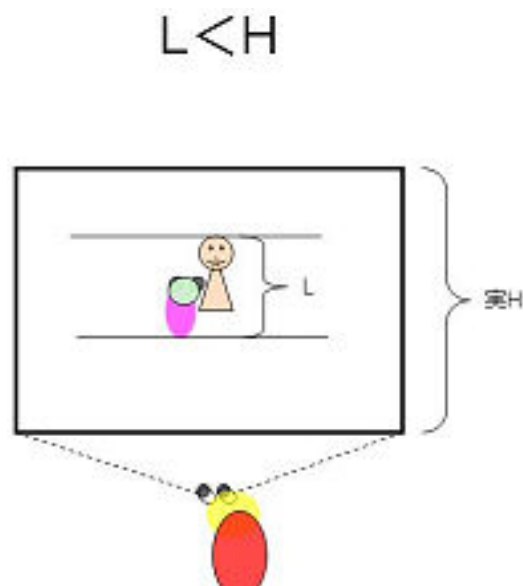


図 4.38: 被写体から遠い場合

この場合、視線軸方向に前進することで、構図を調節する必要がある (図 4.39 ~ 4.40)。

前進量は、人間の身長を L 、画面の垂直軸方向のピクセルサイズを実世界の長さに変換した値を H とし、

L H

となるように決定する。

ズームイン

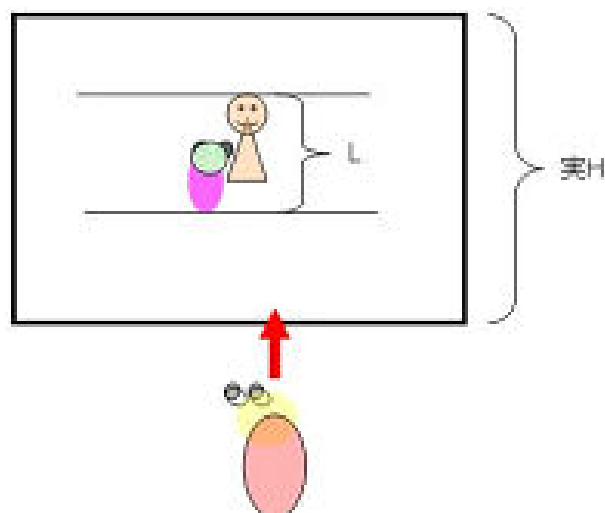


図 4.39: 被写体に近づく

$$L \div H$$

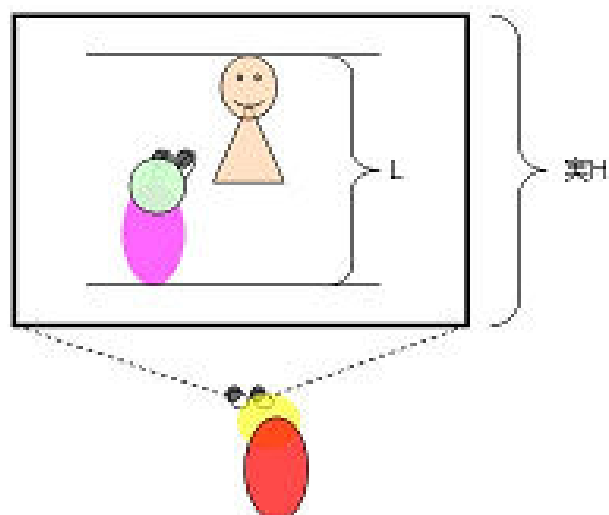


図 4.40: 構図設定完了

第5章 評価実験

以下の点に関して実験、評価を行う

- 視点固定精度実験
- システム評価実験

5.1 視点固定精度実験

方向転換、前進の各動作中に、マーカを視点固定の対象として動作させて、画面上でのマーカの位置のぶれ率 (4.1.1) を計算してグラフにプロットを行う。

5.1.1 実験方法 (方向転換中)

図 5.1 のように $110[\text{度}/\text{s}]$ で回転中の視点固定動作を行って動作開始から終了までのぶれ率を測定する。回転量を変数とし、値を変更して繰り返す。マーカまでの距離は $1.2[\text{m}]$ 、マーカの高さは床から $15[\text{cm}]$ とした。

5.1.2 実験方法 (前進 (後退) 中)

初期状態は、報道記者ロボットの前方から 90 度の位置 (真横) にマーカが存在している状態とし、報道記者ロボット最大速度 ($20[\text{cm}/\text{s}]$) で動作を行う。その状態で図 5.2 のように前進中の視点固定動作を行って動作開始から終了までのぶれ率を測定する。マーカまでの距離を変数とし、値を変更して繰り返す。マーカの高さは床から $15[\text{cm}]$ とした。

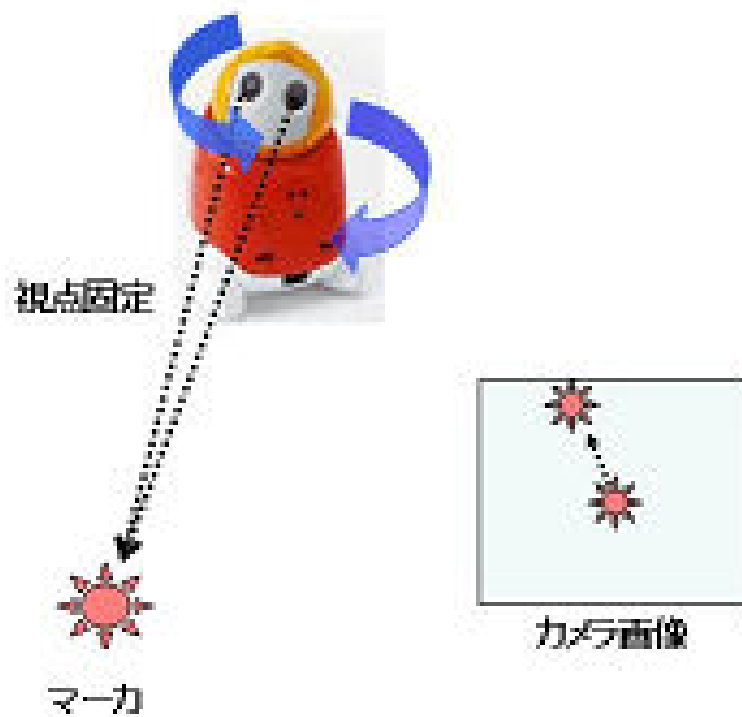


図 5.1: 方向転換中視点固定

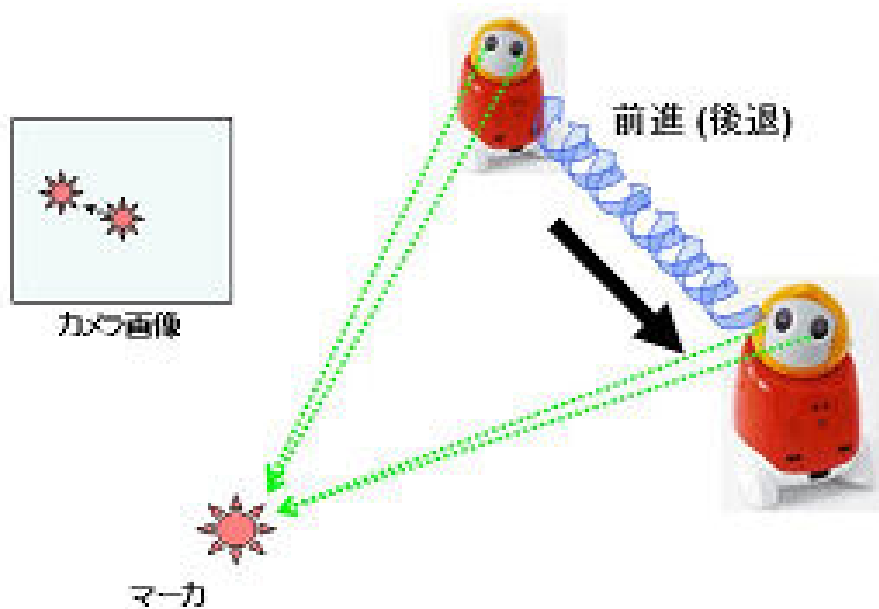


図 5.2: 前進 (後退) 中視点固定

5.2 システム評価実験

システム性能評価を行う。実験は、実環境でのデモを想定したシミュレーションによって行う。シミュレーションでは、まず遠隔地から RFID を元に報道記者ロボットが被写体ロボットの位置を把握して近づく。その後、本論文で述べている写真撮影の一連の動作を繰り返し、終了する。実用性を評価するために、一連の写真撮影動作における計測時間、撮影した画像が成功する確率を求める。ただし、本実験では被写体ロボットを複数利用しないため、被写体は一組のみとし、複数台の場合は理論値として計算する。

5.2.1 実験環境

実験は以下の設備、環境で行う

- 実験スペースの面積 $6*6[m^2]$
利用機器、被験者等
- ストップウォッチ
- 報道記者ロボット、被写体ロボット各一台 (図 2.3 のように RFID 装備)
- 写真アップロードサーバー台
- 無線ルーター台
- 被験者一人
ロボット、人の配置、設定パラメタ
 - 人とロボットの初期位置をランダムに変更
 - Max の分割角度を 45 度に設定

5.2.2 実験方法

報道記者ロボットシステムの一連の動作 ((例) 図 5.3 ~ 図 5.10) を全て行い、

- RFID による被写体ロボットの探索、近づき、到着するまでの時間計測
- 写真撮影と撮影地点変更の動作を繰り返し、終了するまでの時間計測
- 撮影画像のアップロード

を行う。

実環境での利用を想定しているので、報道記者ロボットの台詞（「どこかな」、「人検出!」、「写真撮影!ぱしゃり」、「構図変えよう」）の発話時間と、報道記者ロボットの画像認識 [2] (人物検出、被写体ロボット検出、被写体ロボット向き認識) の処理時間を加えて計測することにする。

実環境での一連の動作 (一例) を以下に示す



図 5.3: RFID によって、遠隔地の被写体ロボット位置把握



図 5.4: 実験初期状態:被写体ロボットに到達

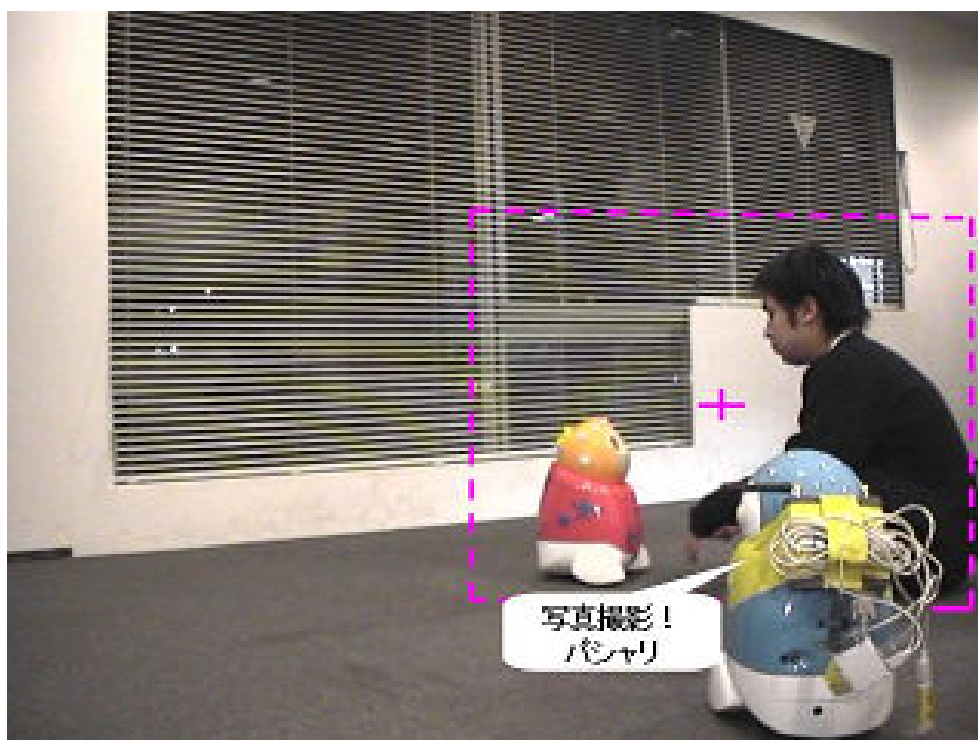


図 5.5: 写真構図調節と撮影

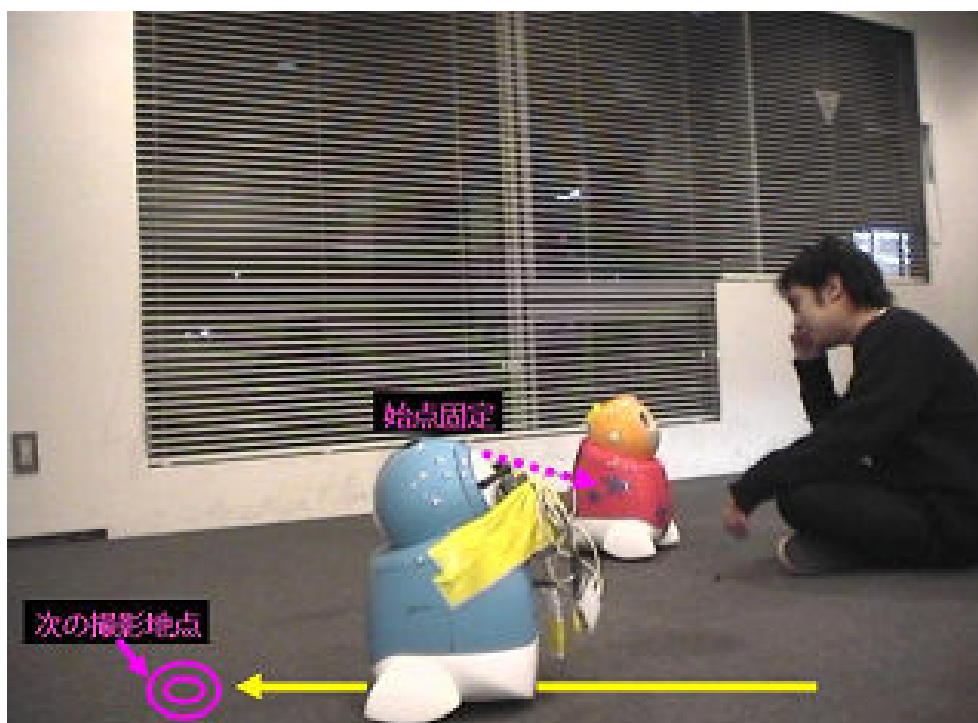


図 5.6: 次の撮影地点へ移動

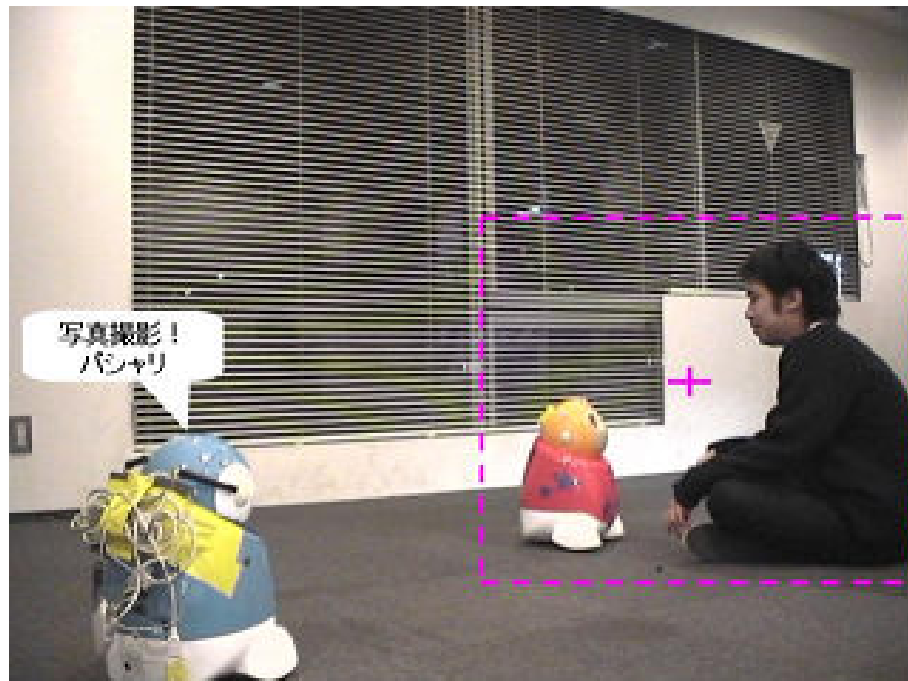


図 5.7: 写真構図調節と撮影

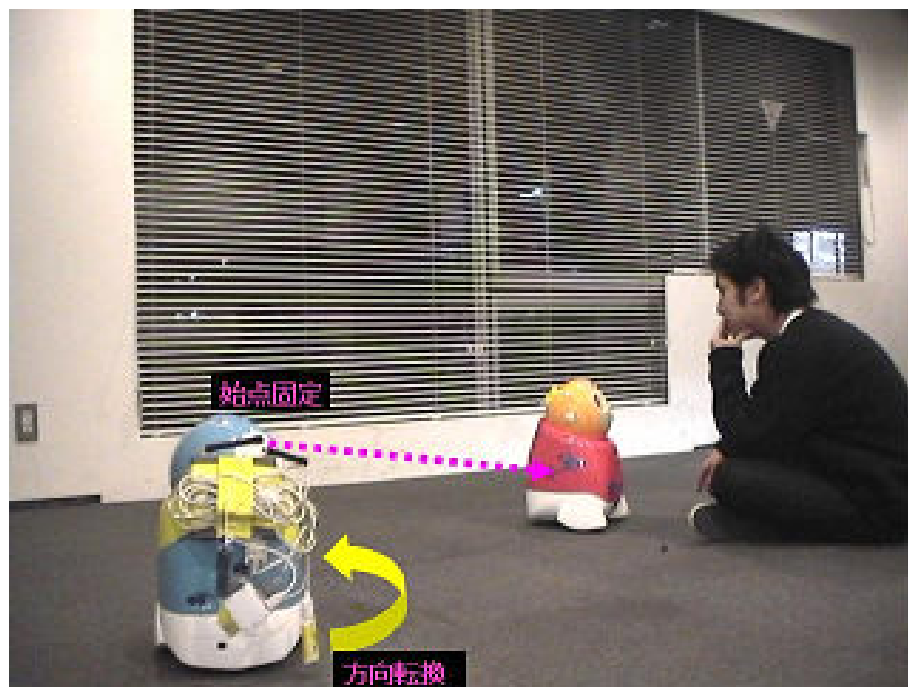


図 5.8: 方向転換

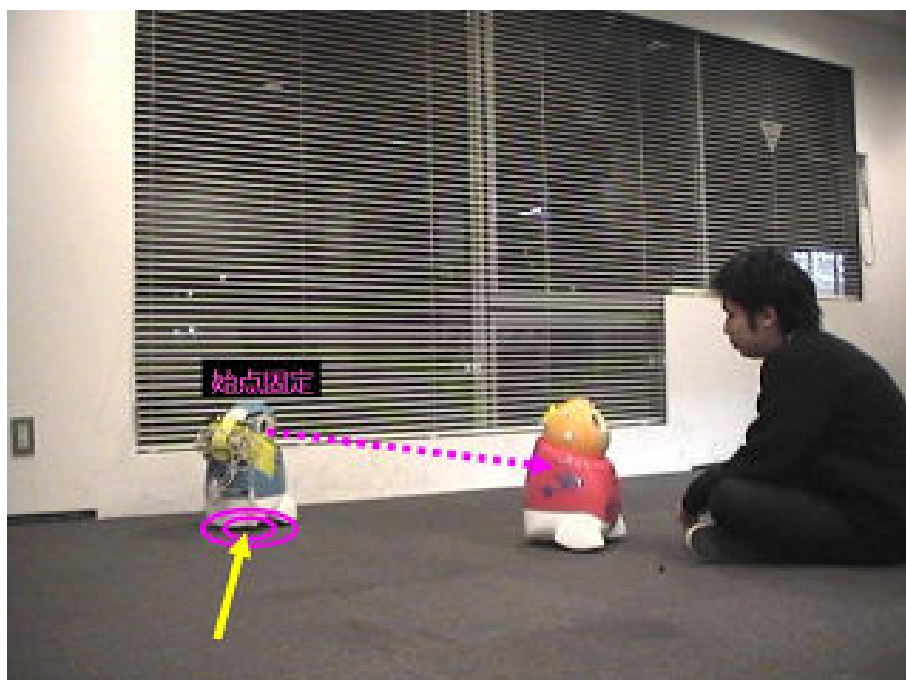


図 5.9: 次の撮影地点へ移動



図 5.10: 写真構図調節と撮影

第6章 実験結果と考察

6.1 視点固定精度実験結果と考察

6.1.1 回転動作中

結果はグラフ (図 6.1) の通り

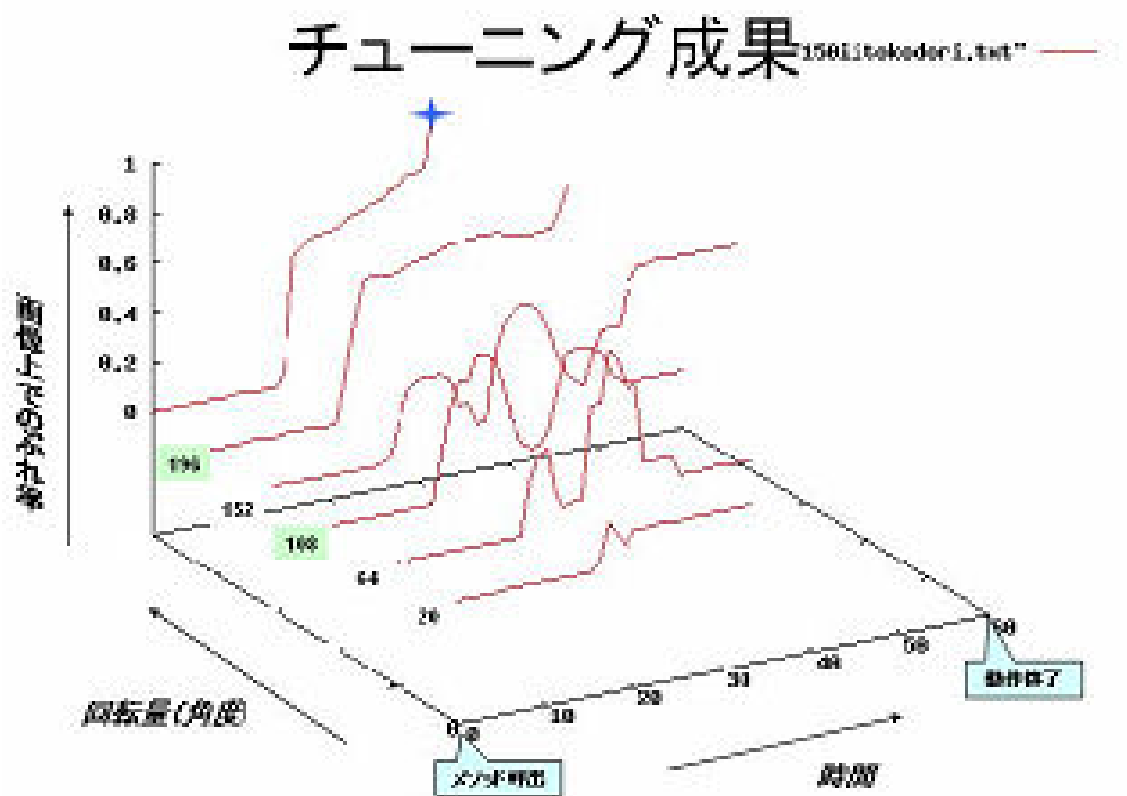


図 6.1: 方向転換中視点固定結果

改善前 (図 4.6) に比べ、報道記者ロボットに必要な回転量は、全て視点固定が実現されている。つまり、報道記者ロボットの方向転換に必要な回転全て (0 度 ~ 180 度) が利用可能となったといえる。

6.1.2 前進(後退)動作中

結果はグラフ(図 6.2)の通り

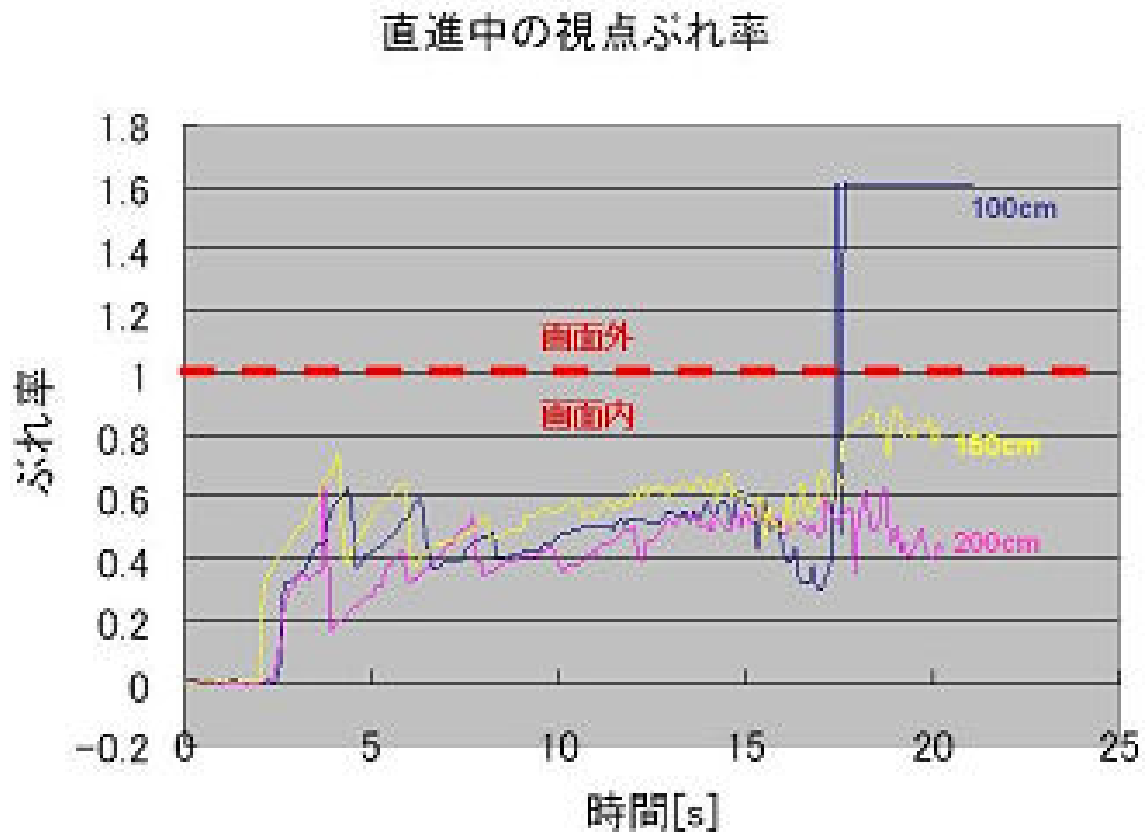


図 6.2: 直進中視点固定

動作開始から約 18 秒を超える時点で、ぶれ率が急激に伸びていることが分かる。初期距離 100[cm] の実験では、その時点から被写体が画面外へ外れているが、これは首の駆動限界の物理的制限によるものであり、4.2.2 において、限界を超える空間での動作を提案し、実装し対処済みであるので問題になることはない。さらに言うと、18 秒間秒速 20[cm/s] で移動するということは、360[cm] の距離を移動するということになる。本システムで直進動作を行うのは撮影地点変更動作の場合であるが、360[cm] 先にある撮影地点に一回で移動する動作は利用しない。つまり、直進中の視点固定で対象物を見失うことは起こらないといえる。

以上より、報道記者ロボットは、直進しながら対象物を見続けることが可能である。

6.2 システム評価実験結果と考察

6.2.1 時間計測結果

各計測時間の平均を表 6.1 に示す。

表 6.1: 計測時間の平均

| | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 被写体ロボット RFID 探索、近づくまで $T_R[s]$ | 51.0(初期距離 4[m] の場合) |
| 撮影地点変更 ~ 構図調節 ~ 写真撮影 一回分 $T_{撮}[s]$ | 75.41 |

報道記者ロボットが撮影初期位置に到着してから一連の撮影動作を起動するまでの待機時間を $T_{待}$
被写体ロボットの台数を $P_{台}$
被写体ロボット一台に対する報道記者ロボットの一連の撮影動作の繰り返し回数を f
とおくと、全サービス所要時間 $T_{サ}$ は次の式で表される。

$$T_{サ} = P_{台} * (T_R + f * (T_{撮}) + T_{待})$$

本研究は愛知万博 [3] のブースにおけるデモンストレーションを行うこと、また、実生活の空間での利用が目的であるため、実用のためには、デモンストレーションの時間 (報道記者ロボットシステム利用時間 $T_{利}$) 内にサービスを行うことができればよい。

つまり、

$$T_{サ} \leq T_{利}$$

を満たせばよいことになる。

表 6.1 の計測結果の値、 $T_{待} = 6.0$ 、 $1 \leq f \leq 3$ を考慮すると、次の表 6.2 より、 $T_{利}$ を 30 分 (1800 秒) とすれば、ほかのパペロを 6 ~ 13 台周って行くことが可能である。

つまり、このサービス時間 $T_{サ}$ は十分実用に耐えうるものであると言える。

表 6.2: サービス提供時間の見積もり

| $P_{\text{台}}$ | $T_{\text{サ}}^{\text{最小}} (f = 1)$ | $T_{\text{サ}}^{\text{最大}} (f = 3)$ |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 132.4 | 282.2 |
| 2 | 264.8 | 564.4 |
| 3 | 397.2 | 846.6 |
| 4 | 529.6 | 1128.8 |
| 5 | 662.0 | 1411.0 |
| 6 | 794.4 | 1693.2 |
| 7 | 926.8 | 1975.4 |
| 8 | 1059.2 | 2257.6 |
| 9 | 1191.6 | 2539.8 |
| 10 | 1324.0 | 2822.0 |
| 11 | 1456.4 | 3104.2 |
| 12 | 1588.8 | 3386.4 |
| 13 | 1721.2 | 3668.6 |
| 14 | 1853.6 | 3950.8 |
| 15 | 1986.0 | 4233.0 |

6.2.2 撮影画像の評価

撮影した画像の成功例を図 6.3 に、失敗例を図 6.4 に示す。



図 6.3: 成功画像一覧

撮影画像枚数、成功写真枚数、成功率は以下の表 6.3 に示す。

失敗の原因には

1. ロボットの向き の検出誤差

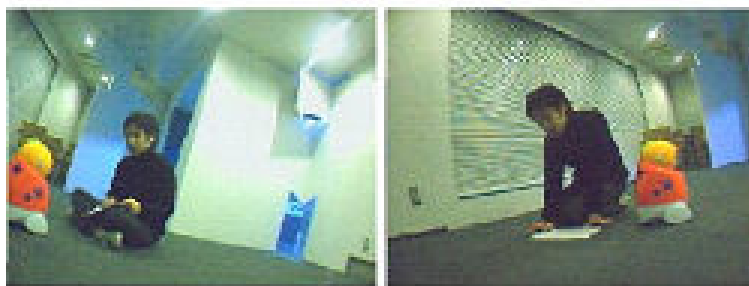


図 6.4: 失敗画像一覧

表 6.3: 撮影画像評価

| | |
|------------|------|
| 撮影枚数 [枚] | 20 |
| 成功写真枚数 [枚] | 17 |
| 成功率 [%] | 85 % |

2. 人検出の失敗
3. ロボットのハードウェアのエラー指定パラメタ
4. 障害物の存在により停止

があった。

1、2 は画像処理にかかわる問題であり。デモ環境の照明条件ごとに個別に画像サンプルを取り直すなどして対処する必要がある [2] が、より広く普及するためにはデモ環境によらない改善が必要となる。また、2 は人物検出の精度を上げる [2] ことで対処する必要がある。被写体ロボットを見失う問題は主に 3 が原因となっている。ロボットの動作指令のパラメタ (回転角度、速度などの誤差) に依存する問題であり、その不具合の場合の対処をしていないために、ロボットが思うように動かない場合がある。実際のデモ環境では、被写体ロボットを見失った場合、一定時間を過ぎた時に RFID によるロボット探索 [1] に処理を渡す必要がある。しかし、それでは時間のコストがかかるため、画像処理を利用して見失い直後に対処することが必要であると思われる。4 に関しては、本研究では未対処の部分である。報道記者ロボットの障害物対策 [7] により現在対処中である。

第7章 まとめ

本論文では、報道記者ロボットシステムを実現する上での必要要件 (a)、(b)、(c) を満たすために、移動ロボットの動作制御 (報道記者ロボット) によって、方向転換中、前進 (後退) 中の視点固定動作のチューニングと、その動作を利用した報道記者ロボットの経路選択解決アルゴリズムを提案し、実装、評価を行った。

方向転換中の視点固定は、0 度～180 度の範囲で被写体を見失わずに動作を行うことが可能となり、前進 (後退) 中の視点固定動作は、サービスで利用する範囲 (一回の動作で 360cm 未満の移動) で十分実用に耐えるものとなった。また、これらの動作を利用して写真撮影のシミュレーション実験によれば、撮影画像成功率は約 85 パーセントの精度であった。サービス時間に関しても、30 分のデモ時間があれば 6 台～18 台のロボットを周ることが可能となり、実用的なものとなった。

第8章 今後の予定

実環境での普及を進めるためには、実世界における雑多な出来事に対処していく必要がある。

短期的に実現することは、報道記者ロボットの障害物対策である。PaPeRo に特化した障害物対策の研究成果 [3] を利用することでこれを実現する予定である。具体的には、RFID による被写体ロボット検出から到着の間は、検出された障害物に対処した移動経路アルゴリズムを個別に提案する。また、撮影地点変更、撮影構図変更、写真撮影の一連の動作時においては、報道記者ロボットが移動する前に障害物のマップによって、その障害物をどける、あるいは障害となっている人間にどいてもらうよう、報道記者ロボットが発話を行う仕組みにする予定である。発話後に障害物がなくならずタイムアウトした場合には、別のロボット RFID 探索処理に渡す方法と、報道記者ロボットが被写体ロボットに遠隔からメッセージを送り、メッセージを受け取った被写体ロボットがペアとなる人間を、別の場所へ連れて行き、障害物で通れない地点の周辺の空間を空けることで、障害物回避を行う方法を考えている。

また、本研究は 2005 年 3 月 25 日から始まる「愛・地球博」[3] においてデモスペースを頂いてデモを行う予定になっている。このデモの環境に合わせた調整と、アルゴリズムの改善をしていく必要があると思われる。このデモの経験によって、よりよいサービスを提供することができるようになる予定である。

謝辞

本研究は「愛・地球博」チャイルドケアロボットデモンストレーションのプロジェクトの一環として行われました。

このプロジェクトは、大変多くの方々のご協力によって進めることができました。ここにお礼をさせていただきます。

村岡洋一教授には、大学三年時から厳しくも大切なお言葉をかけて頂き、ありがとうございました。様々なアドバイスを頂くにつれて自分の気持ちがとても前向きになって行きました。

RingoLabo の加藤様、NEC ロボット開発センターの船田様をはじめとする社員の皆様方には、自由な発想でプロジェクトを進めることができる環境を作ってくださいました。設備等リソースの貸し出しサポート、共同研究会等での貴重なご意見により、このプロジェクトを軌道に乗せて頂きました。

MCE 取締役 西村様には、常に厳しいお言葉で私の尻たたきをして頂いたのみならず、公私にわたって楽しい時間をすごすことができました。

MCE プロジェクトメンバーの方々には特に寝食をともにすることが多かったのを覚えております。草山氏は、私とは正反対な几帳面な生活態度や仕事の進め方を拝見させていただき、学ぶところが非常に多かったと思っております。信頼だけでなく、尊敬できる仲間として過ごすことができました。

池長氏はちょうど去年、若き期待の新人としてプロジェクトに入ってこられました。才能にあふれた彼の仕事ぶりは、自分に大きな刺激となっているだけでなく、MCE の雰囲気をも明るくしてくださったことも感謝しております。池長氏であれば次の MCE を引っ張っていけると期待しております。

公私共に修士時代は自分にとって大きな変革の時代であったと考えております。修士 1 年時は色々な課外活動に精を出しすぎて、研究がおろそかになってしまいました。しかし、そのような自分の居場所があるほど懐 (?) の大きな研究室であったと思っております。私は早稲田大学、また、村岡研究室に来たことは一生の財産であると考えております。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] 池長, 村岡, ”報道記者ロボットシステムの開発 - RFID を使ったロボット位置検出 - ”
- [2] 草山, 村岡, ”固有空間照合法による被写体ロボットの姿勢検出-報道記者ロボットシステムにおける写真撮影機能の開発-”, 2005
- [3] ”愛・地球博”, <http://www.expo2005.or.jp/jp/>, 2005
- [4] ChuoCity, ”(報道発表)”, <http://www.city.chuo.tokyo.jp/index/015974/019400.html>, October 2004.
- [5] 井上, 八木, ”C 言語で学ぶ実践画像処理”, オーム社, 1999.
- [6] 岡崎 彰夫, ”はじめての画像処理技術”, 工業調査会, 2000.
- [7] 大木, 村岡, ”色・エッジ情報を用いた汎用性のある障害物回避”, 2005